



Universidad
Carlos III de Madrid

Proyecto fin de carrera

Sistema de control para láser robotizado

Desarrollado por Juan Carlos Sánchez Campos
Titulación: Ingeniería técnica industrial - Electrónica industrial

Dirigido por Marco Antonio Álvarez
Departamento de ingeniería mecánica

Madrid, 2012

Índice

Resumen	3
Sección I - Introducción	4
1.1 - El Láser	6
1.1.1 - Historia	6
1.1.2 – Principio de funcionamiento	8
1.1.3 – Componentes del láser	9
1.1.4 – Proceso de generación del rayo láser	11
1.1.5 – Tipos de láser	13
1.1.6 – Aplicaciones	14
1.2 – El Robot	16
1.2.1 – Antecedentes históricos: el robot como entretenimiento	16
1.2.2 – El robot industrial.....	18
1.2.3 – Qué es un robot: Definiciones	24
1.2.4 – Clasificación de robots	27
Sección II - Proceso experimental	30
2.1 – El láser Rofin SC x10.....	32
2.1.1 – Puerto USER1	35
2.1.2 – Modos de disparo	36
2.2 – El Robot ABB IRB 1400	43
2.2.1 – El lenguaje de programación RAPID.....	45
Sección III - Programación del robot	46
3.1 – El programa	48
3.1.1 – Comunicación robot - láser	49
3.1.2 – Ensayos	50
3.2 – Operación del sistema	54
3.2.1 – Ensayo LÍNEA	57
3.2.2 – Ensayo CÍRCULO	60
3.2.3 – Ensayo PUNTO.....	65
Sección IV - Conclusiones.....	68
4.1 – Conclusiones finales	69
4.2 – Trabajos futuros.....	70
4.3 – Referencias.....	71
Anexos	72
Anexo I – Código comentado.....	73
Anexo II – Hoja de catálogo ABB.....	90
Anexo III – Manual del láser	92

Resumen

El proyecto consiste en la interconexión entre un láser industrial de CO₂ y un brazo robótico, y el desarrollo de un programa de control, obteniendo un sistema que pueda ser configurable y programable para la realización de diversas tareas de corte, grabado y sinterizado.

A lo largo de la memoria se presenta la información que se considera imprescindible para operar el sistema. Los usuarios que deseen profundizar en los temas tratados o tengan la intención de realizar modificaciones disponen de la totalidad de la información utilizada a lo largo del desarrollo del proyecto en forma de anexos.

Este documento se estructura en 4 secciones:

En primer lugar se presentan los conceptos teóricos en los que se basa el proyecto, para ayudar a dar perspectiva de la situación actual, definir una serie de conceptos básicos y facilitar la comprensión del trabajo desarrollado.

En la segunda sección se expone el desarrollo práctico del trabajo: partiendo de los requisitos previos se aborda el desarrollo del proyecto, se exponen las diferentes etapas y se presentan las soluciones adoptadas.

La tercera parte se dedica a la programación del robot, núcleo del proyecto.

Por último, en la sección cuarta se exponen las conclusiones obtenidas, y se proponen una serie de trabajos futuros, que pueden tener el carácter de ampliaciones o mejoras respecto al sistema actual.

Sección I

Introducción

A lo largo de esta primera parte presentaremos información básica sobre los 2 elementos que compondrán el sistema: láser y robot. Comenzaremos por repasar los antecedentes históricos y el proceso de desarrollo que ha dado lugar a la situación actual. Analizaremos los diferentes tipos que existen y explicaremos su funcionamiento.

La lectura de esta sección facilitará la comprensión de los capítulos siguientes.

1.1 - El Láser

El término láser es el acrónimo de *light amplification by stimulated emission of radiation* - amplificación de luz por emisión estimulada de radiación [1][2]. Se trata de un tipo de luz amplificada con una serie de particularidades que la diferencian de la luz visible:

- **Monocromaticidad:** La luz emitida por el láser es de un único color, todas las ondas tienen la misma longitud, a diferencia de la luz común que se compone de todos los colores de la luz visible.
- **Direccionalidad:** El láser produce un haz de luz estrecho y unidireccional, que no se dispersa, lo cual le permite alcanzar elevadas distancias.
- **Coherencia:** Todas las ondas luminosas se acoplan entre sí, ya que tienen la misma frecuencia y fase.
- **Intensidad:** La intensidad, que no se debe confundir con potencia, es una medida de la intensidad por unidad de superficie. A diferencia de una bombilla, cuya luz se dispersa en todas direcciones, la luz del láser, al poseer una elevada direccionalidad, se concentra en una pequeña superficie.

1.1.1 - Historia

En 1961 Albert Einstein, a partir de las teorías de Max Planck sobre los conceptos de emisión espontánea e inducida de radiación, establece los fundamentos teóricos sobre los que se basa el funcionamiento del láser [3].

Charles H. Townes, James P. Gordon, y Herbert J. Zeiger comienzan a trabajar en este principio, y en 1953 desarrollan el MASER, un dispositivo dedicado a

la amplificación de microondas, con el mismo principio de funcionamiento del láser, y que se considera su predecesor.



Imagen 1.1
Townes y Gordon con su MASER (cambiorad.blogspot.com)

Unos años después, Theodore Maiman, tomando como modelo el MASER, se plantea la construcción de un dispositivo similar, con el fin de amplificar luz, dando lugar en 1960 al desarrollo del primer láser, con núcleo de rubí. Dos años después, Robert Hall crea el primer láser semiconductor, y en 1964 Kumar Patel creó en los laboratorios Bell el primer láser de CO_2 .

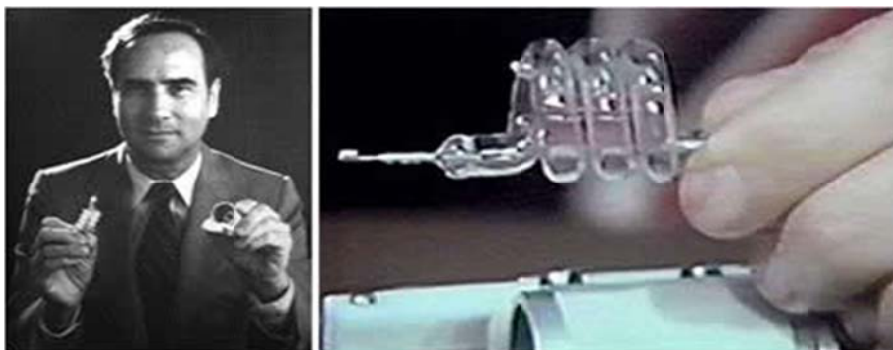


Imagen 1.2
Theodore Maiman sostiene el primer láser operativo (technomicon.com)

En aquel momento el láser no pasaba de ser una curiosidad de laboratorio, ya que no se conocía ninguna aplicación práctica, por lo que se decía jocosamente que se trataba de “Una solución buscando un problema que resolver”. No fue hasta 1969 cuando se comenzó a utilizar de forma práctica, momento en que se descubre su utilidad para soldar piezas de chapa en la fabricación de carrocerías en la industria del automóvil, dando lugar a su primera aplicación industrial. Un año después Gordon Gould, quien ya había acuñado el término ‘láser’ en 1959, patenta otras aplicaciones, entre las que destacan comunicaciones, desencadenamiento de reacciones químicas y medición de distancias.

1.1.2 – Principio de funcionamiento

El átomo se compone de las tres partículas básicas: electrones, protones y neutrones. El núcleo se compone de protones y neutrones, mientras que los electrones orbitan su alrededor [4].

Los electrones poseen una masa muy pequeña y carga eléctrica de signo negativo. Los protones, sin embargo, tienen una masa mayor y carga positiva, mientras que los neutrones, con una masa similar al protón, no tienen carga eléctrica.

Los electrones poseen mayor o menor energía en función de su distancia al núcleo, y pueden encontrarse en reposo, o poseer un nivel de energía superior al normal, en cuyo caso se dice que se encuentran en estado excitado.

Cuando un electrón es excitado por un fotón a un nivel superior de energía, y un tiempo después retorna al estado no excitado, emite un fotón. Esto es lo que se llama emisión espontánea.

La emisión estimulada, que es el principio de funcionamiento del láser, se produce cuando un fotón excita a un electrón que ya se encuentra en estado

excitado. Este electrón, al pasar posteriormente al estado no excitado, emite un fotón igual al que le excitó inicialmente.

1.1.3 – Componentes del láser

El láser se compone de:

1. Núcleo: Tiene forma alargada, y puede ser una estructura cristalina, como el rubí, un tubo de vidrio hueco relleno de algún gas, como CO₂ o una mezcla de Helio-Neón. En cualquier caso se trata de un material cuyos electrones son fácilmente excitables, y que emiten radiación estimulada debido a que los electrones no vuelven al estado de reposo inmediatamente, si no que quedan excitados durante un breve intervalo de tiempo.
2. Excitador: Se trata de un elemento que tiene como función excitar a los electrones del núcleo bombeando fotones. Esta excitación puede producirse por varios mecanismos, como por ejemplo una lámpara de destellos luminosos semejante al flash de una cámara fotográfica (Bombeo óptico), o un par de electrodos que generan una descarga eléctrica de alta tensión (Bombeo eléctrico).
3. Espejos: En los extremos del núcleo se sitúan 2 espejos paralelos, que forman un resonador óptico, uno de ellos completamente opaco y el otro semitransparente (opacidad del 95-99%), que permite el paso del haz láser.

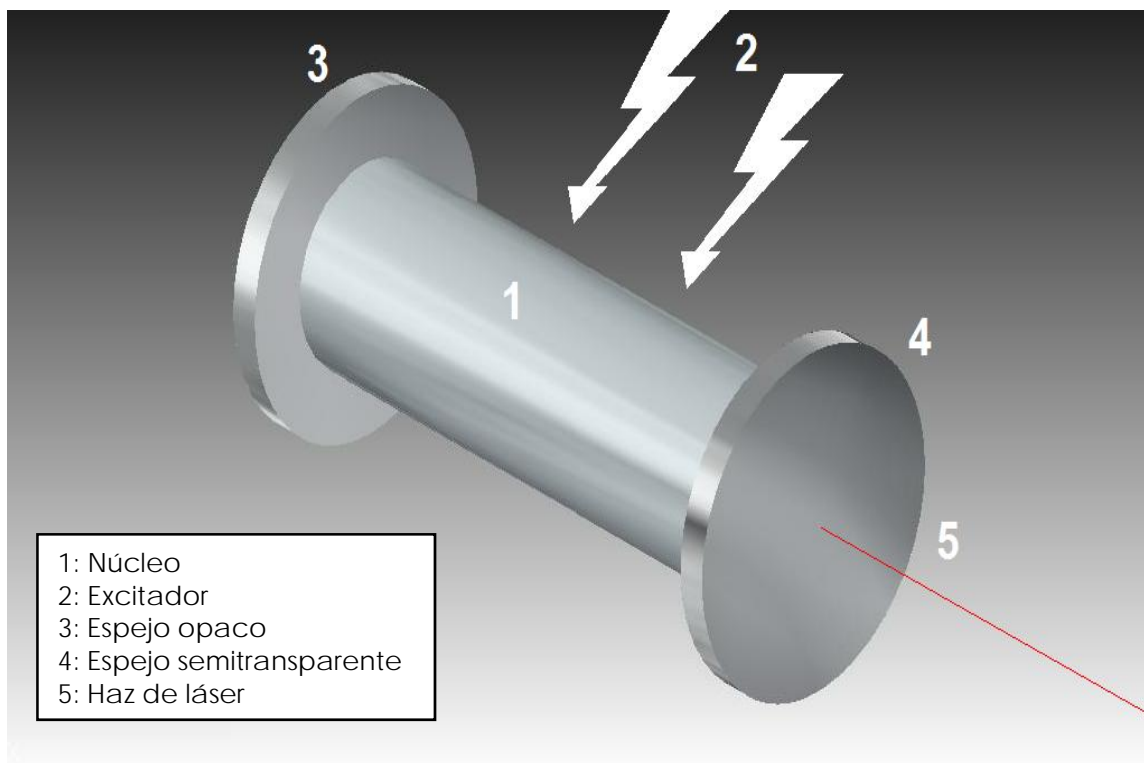
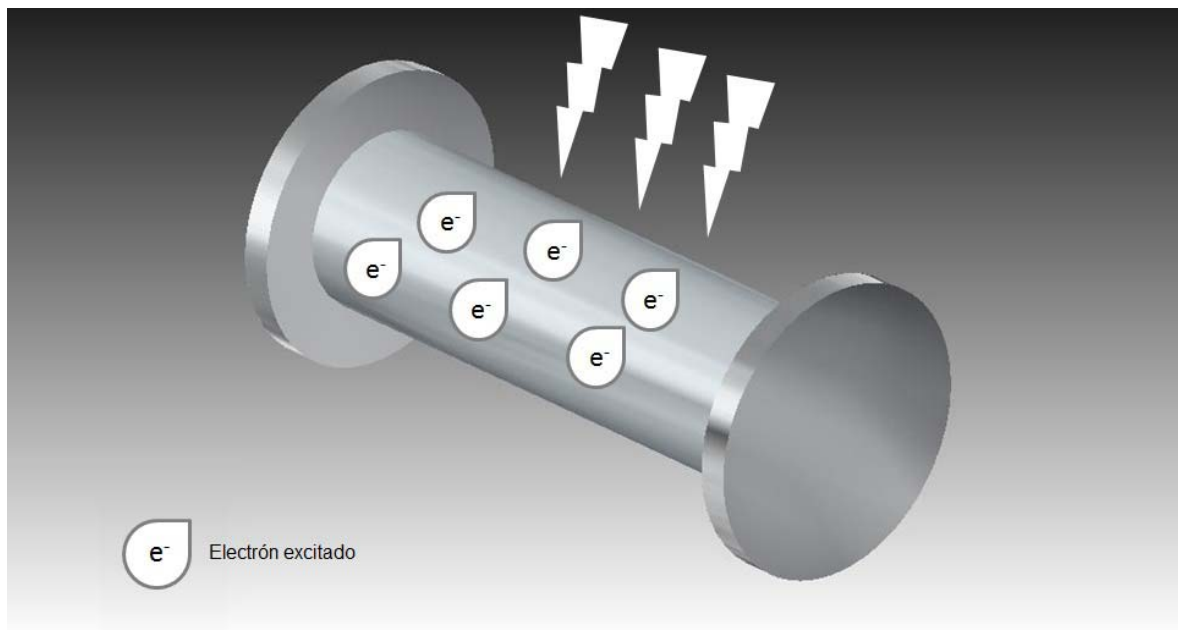


Imagen 1.3
Componentes de un láser

1.1.4 – Proceso de generación del rayo láser

Cuando se excitan los electrones del núcleo, gran cantidad de ellos pasan al estado excitado, permaneciendo así durante un intervalo de tiempo determinado.



*Imagen 1.4
Excitación de electrones*

Algunos de los electrones, sin embargo, realizan una emisión espontánea, emitiendo fotones en todas direcciones al pasar al estado no excitado. La mayoría de estos fotones se pierden por los laterales del núcleo, donde no hay espejos, pero algunos comienzan a chocar entre ellos, moviéndose en la dirección del eje del núcleo. En este movimiento excitan otros electrones, provocando la emisión estimulada de nuevos fotones en esa misma dirección. Estos nuevos fotones rebotan en los espejos, excitando a su vez más electrones, y provocando la emisión de nuevos fotones.

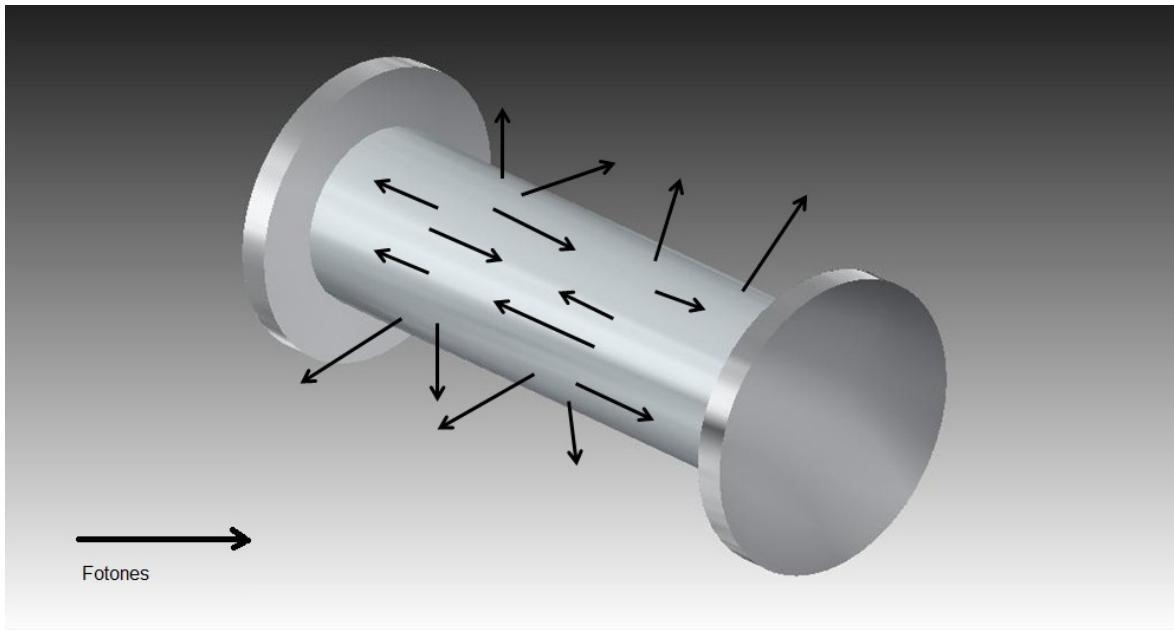


Imagen 1.5
Fotones excitados

Debido a que uno de los espejos es semitransparente, algunos fotones, al alcanzar la suficiente energía, lo atraviesan, saliendo al exterior del núcleo: Éste es el rayo láser.

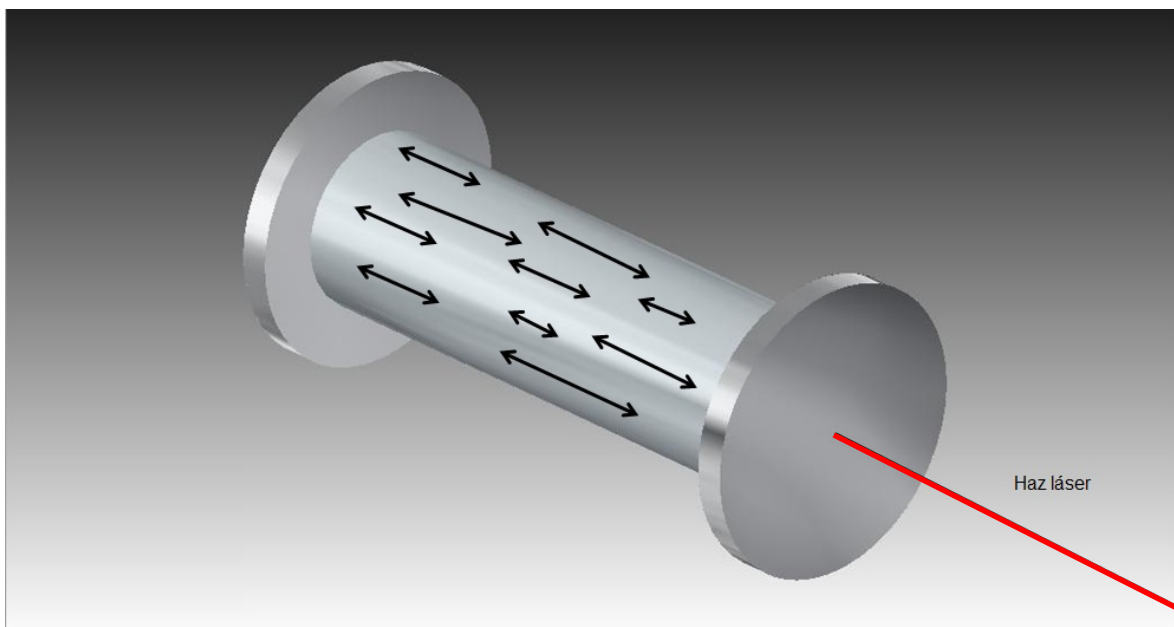


Imagen 1.6
Emisión de láser

1.1.5 – Tipos de láser

Existen diversos tipos de láser, los cuales pueden clasificarse en función de su frecuencia, potencia, o distribución temporal de salida, la cual puede ser continua o pulsada.

Podemos establecer una diferenciación en cuanto a las características constructivas del láser, es decir, el tipo de excitación -o bombeo- y de núcleo:

Respecto al tipo de bombeo, puede ser óptico, si el núcleo se excita mediante una lámpara de destellos, o de descarga eléctrica de alta tensión, si la excitación se produce mediante electrodos.

Respecto al núcleo, éste suele ser sólido o gaseoso. Del tipo sólido destacan el de rubí, Nd-YAG o de semiconductor, mientras que de tipo gaseoso existen numerosos tipos según la mezcla de gas, siendo habitual a nivel industrial el CO₂.

Clasificación de tipos de láser	
Respecto al núcleo	Respecto al tipo de bombeo
Sólido: Rubí, Nd-YAG, Semiconductor Gaseoso: CO ₂ , mezcla Helio-Neón	Óptico Eléctrico

Tabla 1: Clasificación de tipos de láser

1.1.6 – Aplicaciones

Actualmente el láser tiene numerosas aplicaciones en infinidad de campos, y constantemente se hallan nuevas utilidades, todas basadas en la capacidad del láser de suministrar la forma y cantidad de energía requeridas en el lugar deseado.

Incluso a nivel doméstico se ha convertido en algo cotidiano, pues son pocos los hogares que no poseen una impresora láser o un reproductor de discos compacto, ya sean CD, DVD o Blu-ray.

A continuación se mencionan brevemente, a modo de ejemplo, algunos de los usos más habituales:

En el sector industrial fue donde el láser tuvo su primera aplicación práctica, y a día de hoy se siguen utilizando para numerosas tareas, debido a su capacidad para calentar, fundir o vaporizar los materiales, teniendo aplicación para el corte y taladrado de diamantes y herramientas, corte de piezas en chapa metálica o patrones de tela, sinterizado de materiales o grabado de superficies. En el campo de la construcción se utilizan para la medida y alineación de estructuras.

En el terreno científico algunos de los usos habituales con las medidas geodésicas, detección de contaminación y de trazas de sustancias, inducción de reacciones químicas, y también se utiliza para realizar experimentos relacionados con la teoría de la relatividad.

El sector de las comunicaciones ha experimentado un gran auge debido a la propiedad del láser de viajar grandes distancias, resultando útil para transmisiones, tanto espaciales como terrestres a través de fibra óptica, o para almacenar gran cantidad de información en un reducido volumen mediante registros de información holográficos.

Las principales aplicaciones médicas son el corte y cauterización de tejidos en un periodo de tiempo muy reducido y con una precisión sin precedentes, cirugía ocular o microcirugía.

Por último, el láser tiene aplicaciones en el campo militar, aunque a día de hoy estamos lejos de ver soldados portando pistolas lanzadoras de rayos o sables láser, como imaginasen los autores de ciencia ficción, dado que su principal uso es el guiado de misiles.

1.2 – El Robot

Actualmente el término “robot” se encuentra ampliamente extendido en la sociedad: Estamos familiarizados con las cadenas de montaje automatizadas, dotadas de gran número de brazos robóticos trabajando ordenadamente. También a nivel doméstico son frecuentes los llamados robots de cocina o más recientemente los robots aspiradora, e incluso mascotas robóticas. Pero sin duda son el cine y la literatura de ciencia ficción los que más han aportado para que los robots se conviertan en algo popular y casi cotidiano. Sin embargo la imagen que ofrece este tipo de historias suele ser la de un tipo muy concreto de robot, de aspecto humanoide y de comportamiento e inteligencia similares a los de los humanos, lo cual está muy alejado de la situación real.

El objetivo del próximo capítulo es ofrecer una aproximación a la robótica: A partir de los antecedentes históricos se definen una serie de conceptos básicos que permitan comprender cuál es la situación actual. A continuación aclararemos qué es un robot, que tipos existen y cuáles son sus aplicaciones.

1.2.1 – Antecedentes históricos: el robot como entretenimiento

El hombre siempre ha demostrado un gran interés por crear mecanismos que funcionen de forma automatizada. En la antigua Grecia se consiguieron fabricar algunos artífices cuya precisión aún hoy en día resulta sorprendente, como el mecanismo de Antikythera, datado en el

año 87 a.c. y que servía para predecir con gran precisión la posición del sol, la luna y otros planetas [5].

Posteriormente los trabajos se centraron en los mecanismos que imitaban el comportamiento de seres vivos, como el gallo de la catedral de Estrasburgo o el león de Leonardo da Vinci.

El próximo paso lo representan los mecanismos que tratan de imitar un comportamiento inteligente, existiendo algunos capaces de escribir, dibujar, tocar un instrumento musical, como los autómatas de Jaquet Droz, o incluso jugar al ajedrez.



Imagen 1.7

Izquierda: Reconstrucción del mecanismo de Antikythera (mogi-vice.com)

Derecha: Autómatas de Jaquet-Droz (orneladesanctis2008.blogspot.com)

La siguiente tabla recoge los mecanismos más significativos:

Año	Autor	Mecanismo
270 a.c.	Ctesibius	Clepsidra y órgano de agua
62 a.c.	Herón de Alejandría	Teatro automático
87 a.c.	Escuela de Posidonio	Mecanismo de Antikythera
1200	Al-Jazari	Fuente del pavo real
1232-1316	Ramón Llul	Ars Magna
1352	Anónimo	Gallo de la catedral de Estrasburgo
1500	Leonardo da Vinci	León Mecánico
1525	Juanelo Turriano	Monje u hombre de palo
1540		Tocadora de laúd
1738	Jaques de Vaucanson	Pato, flautista y tamborilero
1760	Friedrich von Knauss	Máquina de escritura automática
1770-1773	Jaquet-Droz	Escriba, organista, dibujante
1778	Baron W. von Kempelen	Máquina parlante
1796	Hanzo Hosokawa	Muñeca para servir el té
1805	Familia Maillardet	Muñeca capaz de dibujar
1900	Leonardo Torres Quevedo	Máquinas algebraicas
1906		El Telekino
1912		Máquina de jugar al ajedrez

Tabla 1: Autómatas históricos [5]

1.2.2 – El robot industrial

Curiosamente la búsqueda del origen de los robots nos lleva a una obra de teatro del autor checo Karel Capek, estrenada en 1921, llamada “Rossums Universal Robot”, dado que fue aquí donde se acuña por primera vez el término ROBOT, derivado de la palabra checa “robota” que tiene un significado similar a *trabajo duro, servidumbre*. En dicha obra, el protagonista crea unos seres humanoides para que realicen el trabajo duro, pero éstos terminan rebelándose y atacando a su creador, argumento recurrente desde entonces en numerosos relatos del género.



Imagen 1.8
Imagen de la obra teatral (thegreatgeekmanual.com)

Hasta bien entrado el siglo XX todos los mecanismos o autómatas tenían un fin lúdico, ya que su única función era la de servir como entretenimiento. No es hasta mediados del siglo cuando cambia este concepto y se comienza a pensar en la posibilidad de que los robots tengan como función prestar su ayuda en determinadas labores reservadas hasta entonces a los humanos, o realizar tareas que pueden resultar especialmente penosas o peligrosas. Ya en 1915 Leonardo Torres Quevedo había planteado esta idea en su declaración a la revista «Scientific American»:

“Los antiguos autómatas imitaban la apariencia y movimientos de los seres vivos, lo cual no tiene mucho interés práctico; lo que yo busco es una clase de aparatos que, sin necesidad de reproducir los gestos más visibles del hombre, intenten obtener los mismos resultados que una persona.”

Así, se comienzan a crear autómatas cuyo fin es el de desempeñar el trabajo de los seres humanos, impulsándose a partir de entonces la ciencia de la robótica.

Este cambio en la finalidad de los autómatas lleva aparejados una serie de cambios respecto a los mecanismos que se venían realizando hasta entonces:

Parámetro	Autómata clásico	Robots industriales
Forma	Antropomorfa	Funcional
Accionamiento	Resortes	Hidráulico o eléctrico
Tarea	Única	Programable
Función	Lúdica	Práctica

Tabla 2: Comparativa entre autómatas clásicos y robots industriales

En 1948 Goertz crea el manipulador teleoperado mecánico de tipo maestro-esclavo, un mecanismo en el que un manipulador, mediante cables de acero, reproduce los movimientos realizados por el operador humano. Este manipulador, denominado M1, puede considerarse el precursor de la robótica industrial.

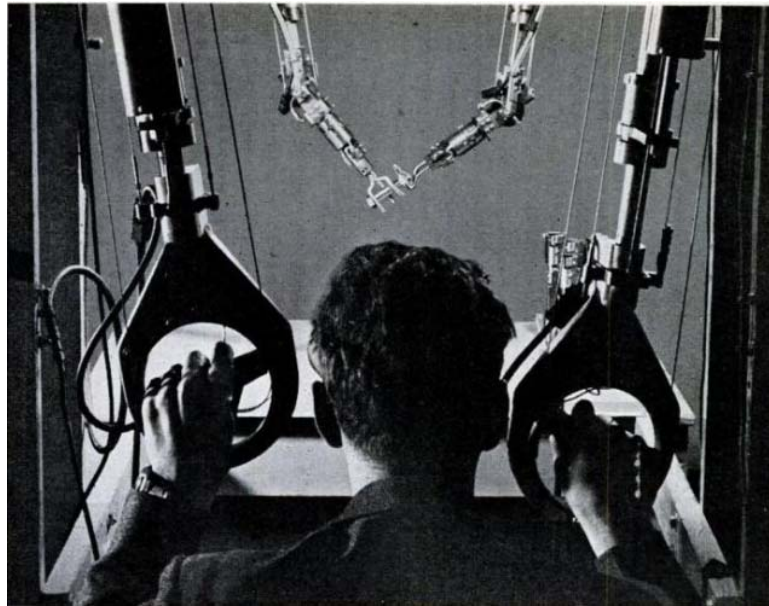


Imagen 1.9
Telemanipulador (cyberneticzoo.com)

Posteriormente, en 1954 se sustituye el mecanismo de cables por actuadores eléctricos, dando lugar al E1. Puede observarse que solo es necesario sustituir al operador humano por un programa informático para dar lugar a un robot.

En 1956 se crea el primer robot industrial comercial, el UNIMATE, de la compañía Unimation fundada por George Devol y Joseph Engelberger. Se instaló por primera vez en 1961 en la fábrica de general motors, dedicado a la tarea de manipular piezas procedentes de un proceso de fundición.

En 1973, cuando el desarrollo de la robótica en Europa iba muy retrasado, la firma sueca Asea (actualmente ABB) realizó un importante avance con el lanzamiento del IRB6, ya que se trataba del primer robot con todos sus ejes accionados mediante motores eléctricos.

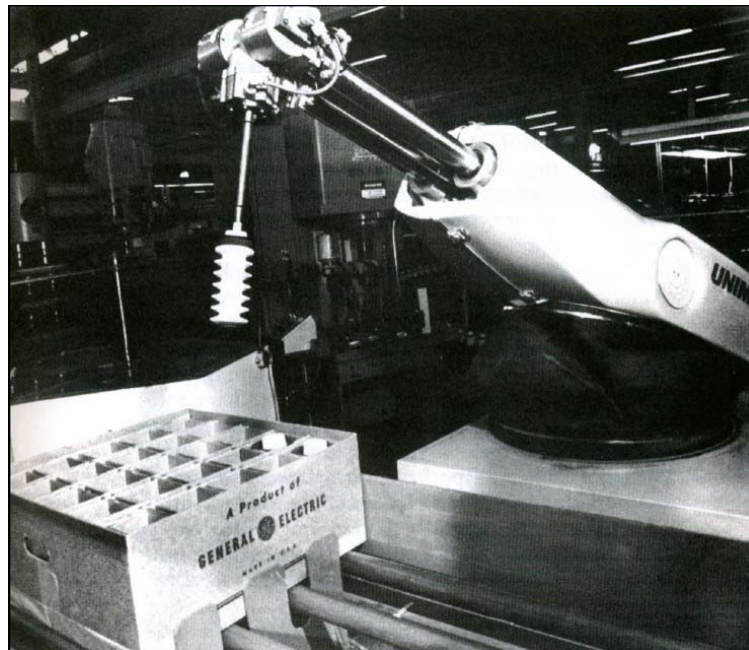


Imagen 1.10
Unimate manipulando piezas (adetec.wordpress.com)



Imagen 1.11
IRB6 de asea (industrie-roboter.com)

En 1971 se lanza al mercado el robot PUMA, siendo el primero controlado por computador.

Los robots humanoides aparecen en escena en 1985 con el WASUBOT, seguido del P-2 de Honda en 1996 y el ASIMO en 2002.



Imagen 1.12

Izquierda: PUMA (roucab.blogspot.com)

Centro: WASUBOT (h2.dion.ne.jp)

Derecha: P-2 (ffc.ri.cmu.edu)

Sony se abre paso en el campo de las mascotas robóticas con el AIBO, un robot con forma de perro y fin lúdico, presentado en 1999.

En 2002 los robots irrumpen en el terreno doméstico con el ROOMBA, una aspiradora autónoma.

1.2.3 – Qué es un robot: Definiciones

El término Robot suele referirse a una entidad artificial, generalmente mecánica, aunque también puede aplicarse a determinados programas de software, que tienen como fin realizar cierto tipo de tareas. Existe tal variedad de robots que resulta difícil, o casi imposible, expresar una definición que abarque a todos ellos de manera precisa, lo cual da lugar a que no exista un consenso sobre qué es un robot y qué no lo es. Sin embargo, se acepta que un robot debe tener la capacidad de realizar algunas de las siguientes tareas:

- Moverse
- Hacer funcionar un brazo mecánico
- Sentir y manipular su entorno
- Mostrar un comportamiento inteligente, especialmente si ese comportamiento imita al de los humanos o a otros animales.

Evidentemente esto da lugar a cierta ambigüedad, ya que no resulta posible redactar una definición que permita abarcar a todos los mecanismos que pueden considerarse robots, o excluya a los que no lo son, por lo que al término robot se le suele añadir un adjetivo que especifique de qué tipo se trata y que ayude a encuadrarlo. Según el GtRob del Comité Español de Automática se definen las siguientes categorías de robots: [6]

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| • Robots aéreos | • Robots cooperantes |
| • Robots asistenciales | • Robots de inspección |
| • Robots autónomos | • Robots de educación |
| • Robots caminantes | • Robots de entretenimiento |
| • Robots celulares | • Robots escaladores |

- Robots espaciales
- Robots de exteriores
- Robots de servicio
- Robots flexibles
- Robots humanoides
- Robots manipuladores
- Robots marinos
- Robots biomédicos
- Robots móviles
- Robots paralelos
- Robots personales
- Robots submarinos
- Sistemas multirobot
- Telerobots
- Robots manipuladores móviles
- Minis y microrobots

A continuación se citan algunas definiciones para el término Robot según diversas fuentes:

ENCICLOPEDIA BRITÁNICA:

Máquina operada automáticamente que sustituye el esfuerzo de los humanos, aunque no tiene por qué tener apariencia humana o desarrollar sus actividades a la manera de los humanos.

DICCIONARIO MERRIAN WEBSTER

Máquina que se asemeja a los humanos y desarrolla como ellos tareas complejas como andar o hablar.

Un dispositivo que desarrolla de manera automática tareas complicadas, a menudo de manera repetitiva.

Un mecanismo guiado por control automático.

DICCIONARIO DE LA REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

Máquina o ingenio electrónico programable capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas.

ROBOT INSTITUTE OF AMERICA-ROBOT INDUSTRIES ASSOCIATION (RIA)

Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

DEFINICIONES ISO

ROBOT MANIPULADOR INDUSTRIAL

Manipulador de 3 o más ejes, con control automático, reprogramable, multiaplicación, móvil o no, destinado a ser utilizado en aplicaciones de automatización industrial. Incluye al manipulador (sistema mecánico y accionadores) y al sistema de control (software y hardware de control y potencia)

REPROGRAMABLE

Aquellos en los que los movimientos programados o las funciones auxiliares pueden cambiarse sin modificación física.

MODIFICACIÓN FÍSICA

Modificación de la estructura mecánica o del sistema de control (se excluyen cambios en los soportes de memoria: disco, cinta, rom, etc.)

Dado que el presente proyecto trata sobre un robot industrial, destacaremos la siguiente definición:

Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable.

1.2.4 – Clasificación de robots

Existen gran multitud de robots, los cuales se diferencian en multitud de parámetros [7], por lo que no es posible establecer algún tipo de clasificación absoluta, si no que se clasifican en función de algún criterio determinado:

CLASIFICACIÓN RESPECTO A GENERACIÓN:

- 1ª generación Repite secuencialmente la tarea programada

No toma en cuenta las posibles alteraciones del entorno
- 2ª generación Adquiere información limitada de su entorno mediante sensores y actúa en consecuencia
Puede localizar, clasificar (visión) y detectar esfuerzos para adaptar sus movimientos
- 3ª generación Su programación se realiza mediante el empleo de un lenguaje natural
Posee capacidad para la planificación automática de tareas

Algunos autores hablan también de una 4ª generación, a la que pertenecerían los robots dotados de inteligencia. Dado que, a día de hoy, se trata de un caso hipotético, no se considera relevante.

CLASIFICACIÓN RESPECTO A ÁREAS DE APLICACIÓN:

- Sección 1: Robots personales y domésticos (tareas domésticas, entretenimiento, asistenciales, transporte personal...)
- Sección 2: Robots de servicios profesionales (limpieza profesional, logística, medicina, submarinos, humanoides...)
- Sección 3: I+D en robótica (percepción, micro y nanobots, navegación y control...)

CLASIFICACIÓN RESPECTO A LA CONFIGURACIÓN:

- Cartesiano
- Cilíndrico
- Polar o esférico
- Articulado
- SCARA
- Paralelo

CLASIFICACIÓN RESPECTO AL TIPO DE CONTROL:

- Robot secuencial : Robot con un sistema de control en el que un conjunto de movimientos se efectúa eje a eje en un orden dado, de tal forma que la finalización de un movimiento inicia el siguiente
- Robot controlado por trayectoria: Robot que ejecuta un procedimiento controlado por el cual los movimientos de tres o más ejes controlados se desarrollan según instrucciones que especifican en el tiempo la trayectoria requerida para alcanzar la siguiente posición (obtenida normalmente por interpolación)

- Robot adaptativo: Robot que tiene funciones de control con sensores, control adaptativo, o funciones de control de aprendizaje (ver ISO 8373)
- Robot teleoperado: Un robot que puede ser controlado remotamente por un operador humano, extendiendo las capacidades sensoriales y motoras de éste a localizaciones remotas

CLASIFICACIÓN RESPECTO A LA ARQUITECTURA:

- Poliarticulados: suelen ser estacionarios, y tienen un número limitado de grados de libertad.
- Móviles: Tienen gran capacidad de desplazamiento, ya sea guiados por un operador o mediante navegación autónoma
- Androides: Imitan la forma humana. Debido a la dificultad de imitar la locomoción bípeda no tienen aplicación práctica y se usan con fines experimentales y de investigación.
- Zoomórficos: Imitan la forma de seres vivos, por lo que podría considerarse que los androides pertenecen a este grupo. Los más avanzados son los de tipo múltipedo
- Híbridos: Aquellos que comparten características de varios de los tipos anteriormente mencionados o que resultan de difícil clasificación.

Sección II

Proceso experimental

A lo largo de este capítulo se expone paso a paso el proceso experimental del proyecto. En primer lugar se presentan brevemente cada uno de los componentes del sistema, y a continuación se pasa a explicar cuáles han sido las actuaciones llevadas a cabo.

2.1 – El láser Rofin SC x10

Se trata de un láser industrial de medio gaseoso, gas CO₂, y bombeo de fotones mediante electrodos de alta frecuencia. La potencia es de 100W. Dispone de un obturador como medida de seguridad que evita que el láser se pueda disparar de forma incontrolada.

La refrigeración se lleva a cabo mediante la unidad frigorífica TAE EVO MT10, que utiliza agua destilada como medio refrigerante. [8]



Imagen 2.1
Laser rofin SC X10 (laser-concierge.com)

El láser se controla por medio de la consola SC, dotada con una pantalla LCD, que a su vez puede recibir señales externas para su control remoto.

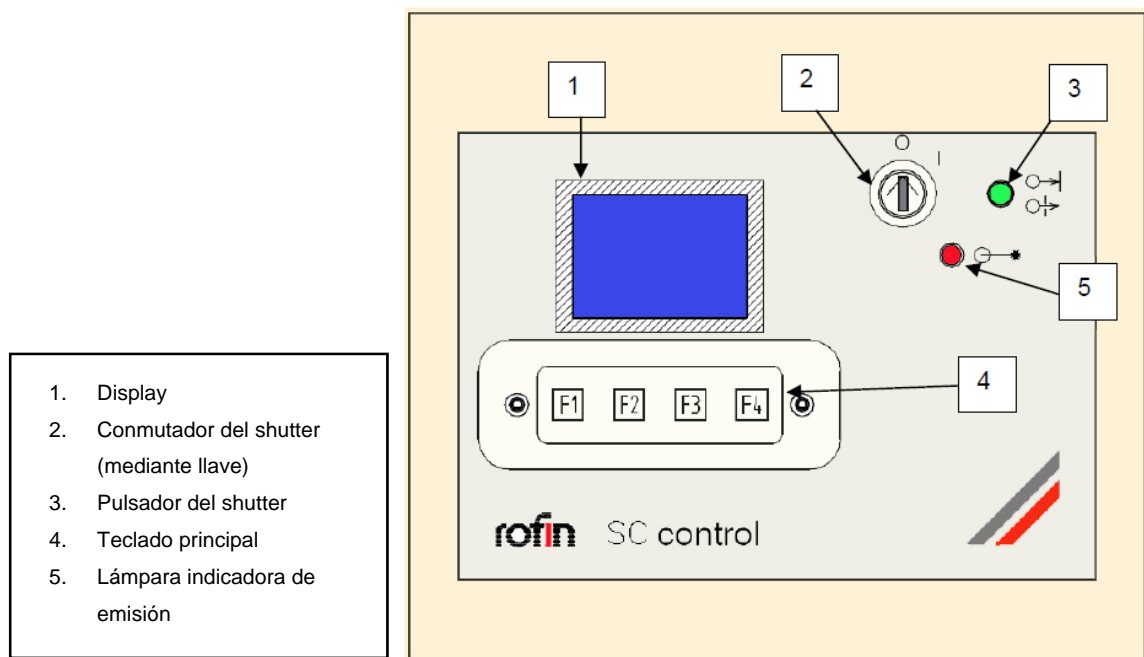


Imagen 2.2
Consola de mando SC (rofin.com)

El teclado nos permite navegar por los menús para configurar ciertos parámetros, así como disparar el láser. Para poder realizar un disparo debemos habilitar el shutter, girando la llave y accionando el pulsador número 3. La lámpara 5 indica que el láser está listo para emitir.

La consola se conecta a los dispositivos periféricos mediante los 4 puertos situados en su panel posterior:

- PSU: Conexiones de alimentación
- USER 1: Se trata de un puerto tipo D, de 15 conexiones macho. Incluye las conexiones para disparar el láser y seleccionar programas de disparo.
- USER 2: Funciones avanzadas.
- CONTROL: Control del tubo láser.

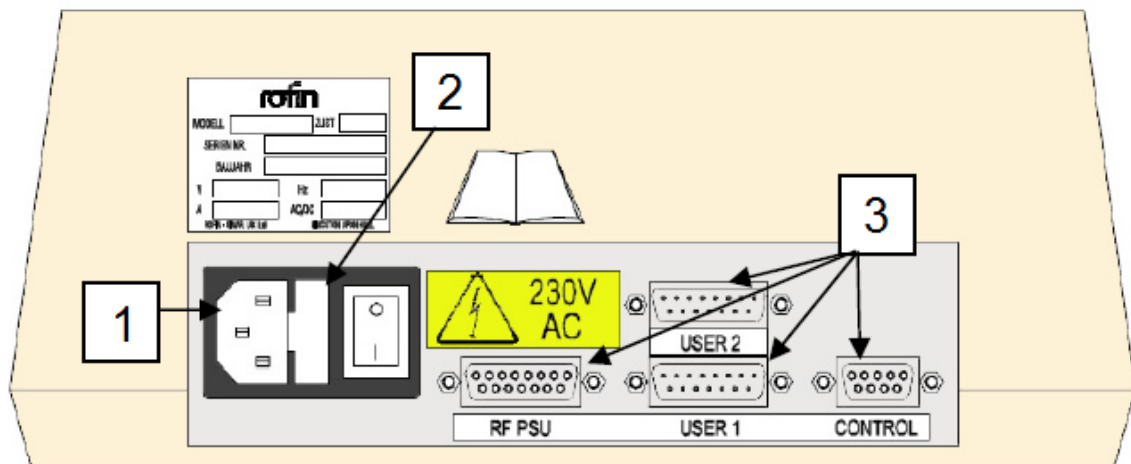


Imagen 2.3
Panel trasero de la consola (rofin.com)

1. Conexión a red
2. Fusibles
3. Puertos de comunicaciones:
 - a. RF PSU
 - b. USER 1
 - c. USER 2
 - d. CONTROL

Nos centraremos en el puerto USER 1 ya que es el que utilizaremos para la conexión entre láser y robot.

2.1.1 – Puerto USER1

Se trata de uno de los puertos de comunicaciones con los que cuenta la consola. Maneja señales digitales de entre 5 y 24 Voltios.

La función de sus pines se indica en la siguiente tabla:

Pin	Función
1	Selección de programa, bit 3 (PS.3)
2	Habilitación de SHUTTER
3	Selección de programa, bit 0 (PS.0)
4	5v CC
5	Entrada analógica de control (0-10V DC)
6	GND
7	Transmisión RS232
8	Entrada TRIGGER
9	Entrada TACHO
10	Estado SHUTTER
11	Selección de programa, bit 1 (PS.1)
12	Indicador de emisión láser
13	Selección de programa, bit 2 (PS.2)
14	GND
15	Recepción RS 232

Tabla 3: Puerto USER1

2.1.2 – Modos de disparo

El SCx10 es un láser pulsado, es decir, no emite de manera continua en el tiempo, si no a impulsos. Es posible configurar varios parámetros, como periodo o ciclo de trabajo, para variar la potencia del disparo. Además cuenta con una serie de modos de disparo predefinidos. A continuación se describen brevemente los modos de disparo, según se detallan en el manual de usuario incluido en el anexo III.

1. PP & PW: El usuario selecciona el periodo y la anchura del pulso

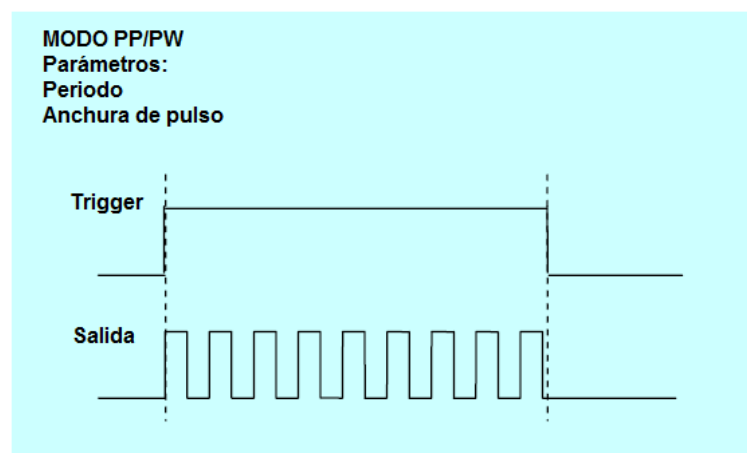


Imagen 2.4

2. ToneBurst (cycle): Selección de periodo, anchura de pulso, tiempo ON, tiempo OFF. Se repite cíclicamente mientras la señal de disparo esté activa

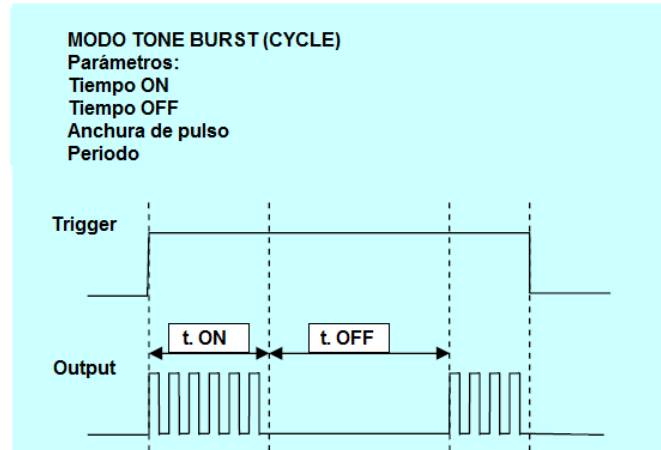


Imagen 2.5

3. ToneBurst (one shot): Selección de periodo, anchura de pulso, tiempo ON, tiempo OFF. Se ejecuta una vez tras la activación de la señal de disparo.

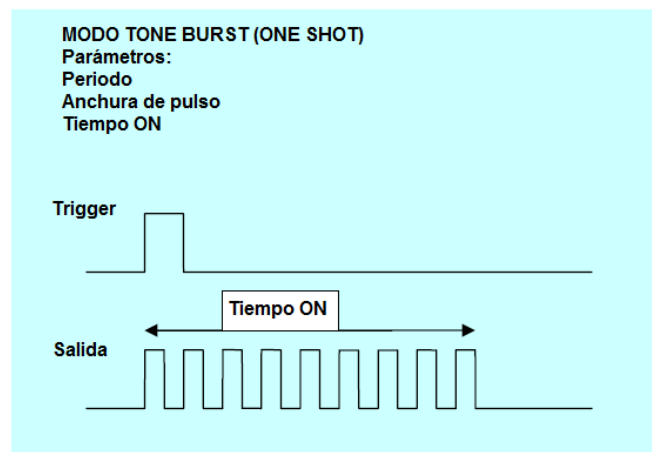


Imagen 2.6

4. StepBurst (cycle): Selección de 3 combinaciones de periodo/anchura de pulso/ duración que se ejecutan secuencialmente mientras la señal de disparo esté activa.

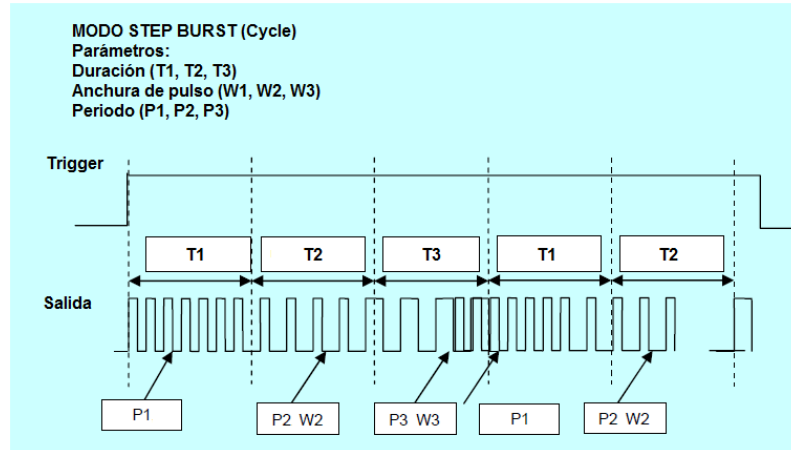


Imagen 2.7

5. StepBurst (one shot): Selección de 3 combinaciones de periodo/anchura de pulso/ duración que se ejecutan una vez tras la activación de la señal de disparo.

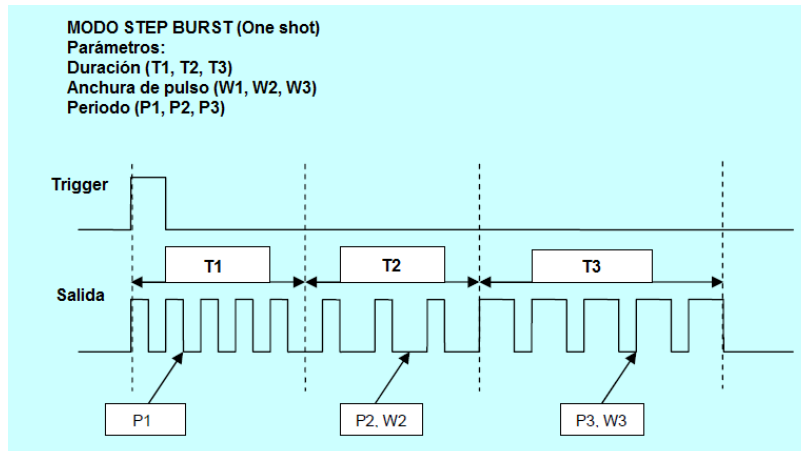


Imagen 2.8

6. StepBurst (continuous): Selección de 3 combinaciones de periodo/anchura de pulso/ duración que se ejecutan secuencialmente. La tercera secuencia continúa ejecutándose mientras la señal de disparo esté activa.

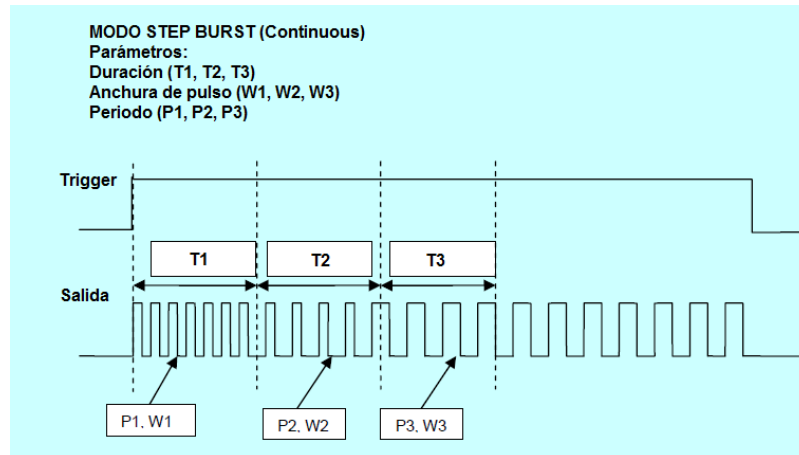


Imagen 2.9

7. Perforate: Un número de disparos de anchura predefinida se ejecutan a intervalos determinados por el valor de la entrada 'Tacho Input'

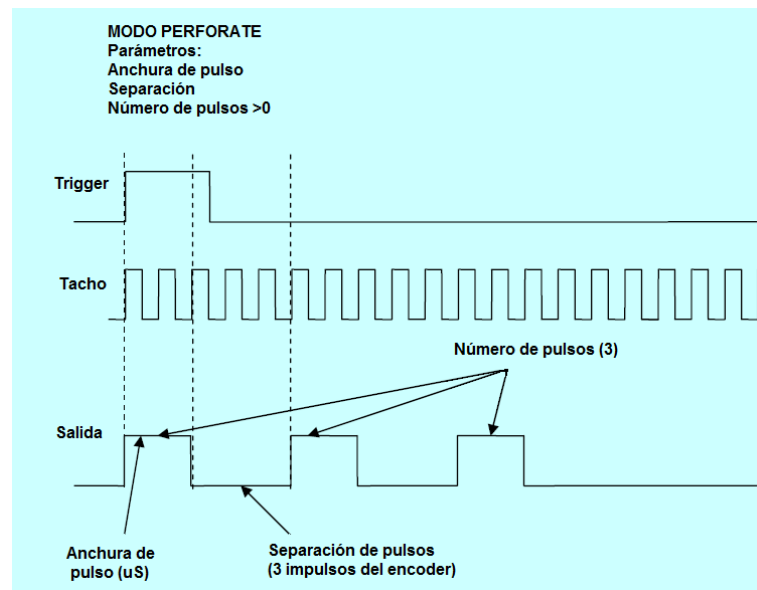


Imagen 2.10

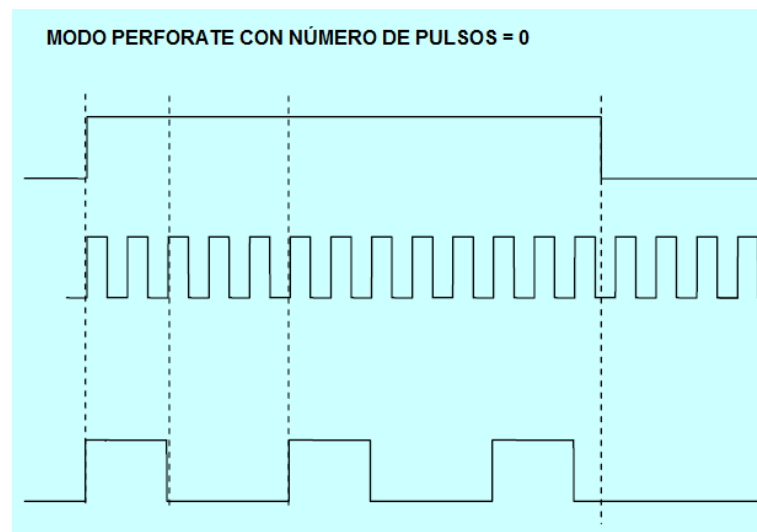


Imagen 2.11

8. Scribe: Un número de grupos de disparos de anchura predefinida se ejecutan a intervalos determinados por el valor de la entrada 'Tacho Input'

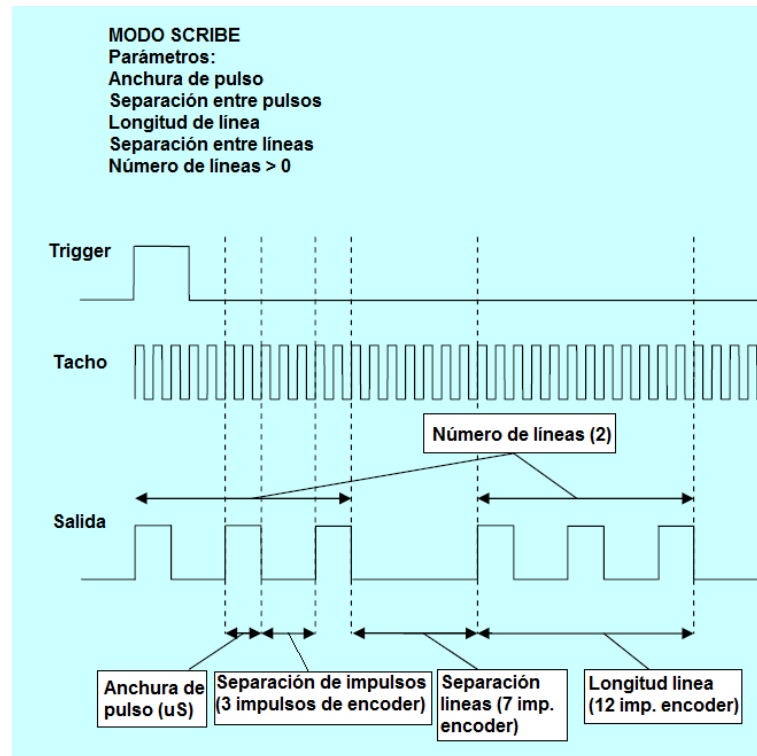


Imagen 2.12

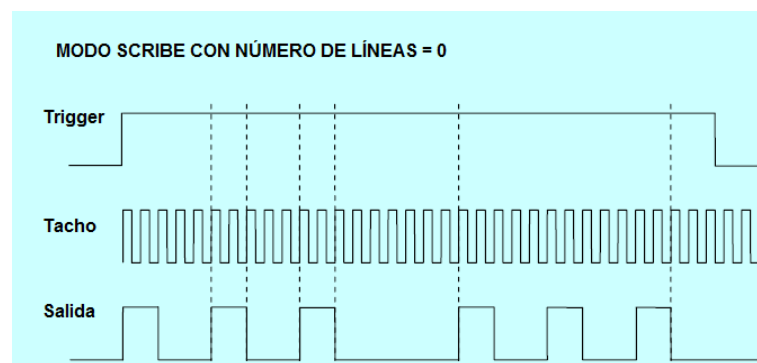


Imagen 2.13

9. Engineering: Modo de uso exclusivo para usuarios avanzados. Nos ofrece más flexibilidad en la configuración de los parámetros.

Para cada uno de los modos el usuario puede predefinir un total de 16 programas, que se seleccionan a través del puerto USER 1 (bits B3-B1, Pines U1.3, U1.11, U1.13, U1.1). Si no se realiza la conexión de dichos pines, se toma por defecto el programa 0.

2.2 – El Robot ABB IRB 1400

Se trata de un brazo robótico industrial, de 6 grados de libertad de accionamiento eléctrico, con una capacidad de carga útil en el extremo de 5 kg, área de trabajo de hasta 1.44m y repetibilidad de posición $\pm 0.06\text{mm}$

Posee capacidad para gestionar señales de entrada y salida digitales, individuales o agrupadas, con una tensión de 24 V CC.

Tiene una estructura abierta adaptada para uso flexible y dispone de un sistema de entradas y salidas para comunicarse con sistemas externos.

Está equipado con un sistema operativo llamado BaseWare OS que se encarga del control del robot.

Es un robot de 1ª generación, poliarticulado, controlado por trayectoria.



Imagen 2.14
Robot ABB irb 1400 (trendrobotics.com)

En el apéndice II se puede consultar la hoja de catálogo de ABB.

El robot se compone de 2 elementos diferenciados:

- Brazo robótico
- Controlador, que incluye la consola S4



Imagen 2.15

Izquierda: Controlador (tulsa-ads.com)
Derecha: Consola (ciudadbolivar.olx.com.ve)

La programación y manejo del robot se realizan por medio de la consola S4, la cual cuenta con una pantalla LCD, teclado y joystick.

La programación también puede realizarse en un ordenador, lo cual resulta más rápido, pero puede dar lugar a errores de sintaxis. Mediante la unidad de control el proceso de programación resulta más lento pero se evitan este tipo de errores y el programa queda almacenado en el propio robot, de modo que se evitan procesos de transferencia del programa, lo cual tiene que hacerse mediante soporte físico. Los programas se generan en formato de texto, por lo que pueden editarse en cualquier ordenador.

Se ha instalado un soporte en su extremo para sostener las piezas sobre las que se trabaja.

2.2.1 – El lenguaje de programación RAPID

Es el lenguaje de programación que utiliza el robot.

Fue desarrollado por ABB en 1994 para la programación de robots industriales, de estructura muy similar a otros lenguajes como Basic, C o Pascal.

Se trata de un lenguaje de programación de propósito general y alto nivel, cuyas principales características son:

- Estructurado en 2 niveles: Un primer nivel de Módulos y un segundo de rutinas y funciones
- Capacidad de declaración de variables especificando su ámbito como globales o locales y su persistencia como constante, variable o persistente.
- Instrucciones para manejo de E/S y control de flujo
- Expresiones aritméticas y lógicas
- Manejo de interrupciones y errores

Las principales instrucciones que utilizaremos son:

MoveL: Movimiento rectilíneo

MoveC: Movimiento circular

SetDO: Activa señal digital

ResetDO: Desactiva señal digital

PdispON: Activa un desplazamiento de programa

TPWrite: Muestra un mensaje en el display de la consola

TPread: Lee un valor introducido mediante la consola

ProcCall: Llama a una subrutina

Puede ampliarse información consultando la “Guía de programación RAPID” incluida en el Cd adjunto, la cual no se incluye en formato papel debido a su gran extensión.

Sección III

Programación del robot

En este capítulo se aborda la programación del robot, lo que constituye el núcleo del desarrollo de este proyecto. Se presentan las funciones del programa, se indican sus principales características, y se explica su manejo paso a paso.

Para mayor información, se ha incluido el código completo con sus correspondientes comentarios en el anexo I.

3.1 – El programa

Tendrá una doble función: por una parte gestionará la comunicación entre robot y láser y coordinará su funcionamiento. Por otra, se programarán una serie de ensayos a fin de llevar a cabo diferentes tipos de pruebas en diversos materiales. Los ensayos serán de grabado, corte y sinterizado.

Se ha previsto el uso de probetas de tamaño 10x10 centímetros, con un taladro en la esquina superior izquierda para servir como referencia de posición.

En el apartado 3.2 se explica el funcionamiento del programa a nivel de usuario, mientras que en el anexo I puede encontrarse una versión completa comentada del programa.

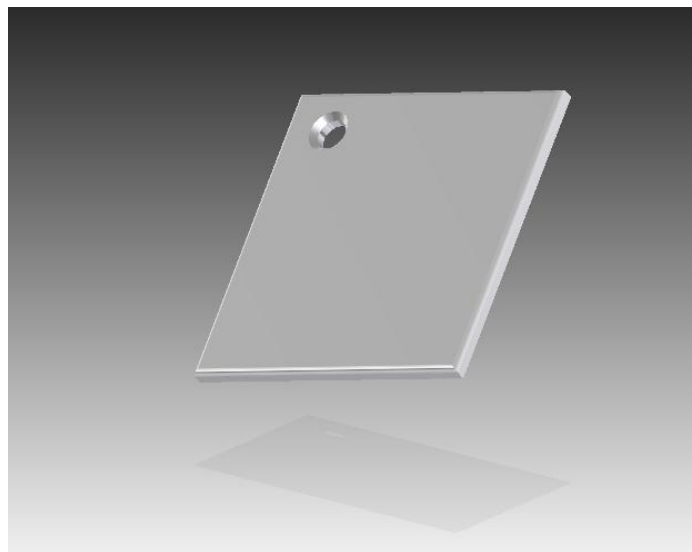


Imagen 3.1
Probeta para ensayos

3.1.1 – Comunicación robot - láser

Tanto el robot como el láser disponen de señales a través de las cuales se puede realizar la interconexión entre ambos. En primer lugar se debe determinar que señales se necesitan para que el robot y el láser se comuniquen.

Se opta por que sea el robot quien controle al láser, de manera que así sea posible gestionar el sistema completo desde la consola del robot. Esto hace posible que una sola persona pueda operar el sistema.

Para controlar el láser y dispararlo de forma remota son necesarias 2 señales y masa:

- **SHUTTER** (PIN 2 puerto USER 1): Controla la apertura del obturador del láser. Activo a nivel alto.
- **TRIGGER** (PIN 8 puerto USER 1): Controla el disparo del láser. Activo a nivel alto.
- **GND** (PINES 6 Y 14 puerto USER 1)

Por lo tanto, para poder disparar el láser es necesario activar ambas salidas secuencialmente, y posteriormente desactivarlas en orden inverso.

El robot posee 2 tarjetas de entradas y salidas denominadas I/O1 e I/O3, cada una de ellas con 32 señales que pueden configurarse como entradas o salidas

Se toman 2 señales de una de las tarjetas de señales del robot, concretamente la 3 (Láser) y la 4 (Shutter) de la tarjeta I/O3. Se necesita un cable con 3 hilos, ya que también es necesario interconectar las masas del robot y el láser.

3.1.2 – Ensayos

Se han programado 3 rutinas, cada una de ellas correspondiente a un tipo de ensayo. En todas ellos se coordina el disparo del láser con el movimiento simultáneo del brazo robótico. De la trayectoria y velocidad del movimiento y de la potencia del láser dependerá el resultado del ensayo. Los 3 tipos de ensayo son LÍNEA, CÍRCULO y PUNTO:

- Línea: El robot mueve la probeta a la vez que dispara el láser, dando lugar a una marca lineal, que en función de la potencia del láser puede ser un grabado o un corte.
- Círculo: La probeta realiza 2 movimientos circulares concéntricos. El primero de ellos con un diámetro de 20 milímetros y el segundo de 18 milímetros
- Punto: Este ensayo está pensado para realizar un grabado o sinterizado en una zona puntual de dimensiones variables a determinar por el usuario.

A continuación se profundiza en el funcionamiento de cada una de las rutinas.

Ensayo línea:

La probeta se divide en 3 columnas, cada una de ellas con 15 filas, de manera que en cada probeta se pueden realizar hasta 45 ensayos en cada probeta.

Inicialmente el robot se sitúa en el punto inicial de la probeta, realizando un recorrido de 30mm a la vez que dispara el láser. Pueden variarse tanto la altura como la potencia del láser para obtener diferentes resultados.

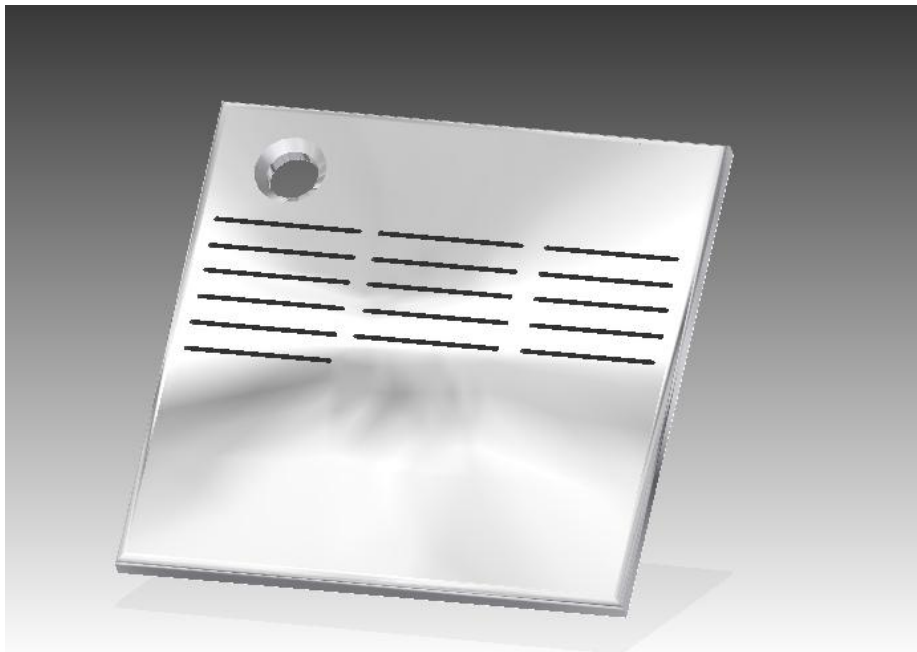


Imagen 3.2
Ensayo línea

Ensayo Círculo:

El objetivo de este ensayo es el corte de una sección circular de diámetro 20mm de la probeta. En previsión de que la probeta pueda estar recubierta de algún material con coeficiente de dilatación diferente al del material base, se ha optado por realizar el corte en 2 fases: en primer lugar el robot realiza un primer disparo correspondiente al círculo externo a fin de cortar o desbastar la capa de recubrimiento. A continuación se procede al disparo del círculo interno, de 18mm de diámetro. Cada uno de estos movimientos puede repetirse varias veces a criterio del operador.



*Imagen 3.3
Ensayo círculo*

Ensayo punto:

Con este ensayo se pretende realizar un disparo sobre una superficie determinada, a fin de realizar un grabado o sinterizado puntual.

Se deben determinar las dimensiones X e Y de la zona a ensayar y el robot realiza un movimiento de barrido mientras dispara el láser.

En la siguiente imagen la distancia entre las sucesivas pasadas se ha aumentado para mayor claridad, la separación real es de 0.5mm.



*Imagen 3.4
Ensayo punto*

3.2 – Operación del sistema

Para realizar un ensayo con el sistema se deben seguir los siguientes pasos:

En primer lugar se debe encender el robot accionando el interruptor principal y esperar a que el sistema se inicie, mostrando en el display del controlador la pantalla de bienvenida.



Imagen 3.5
Interruptor principal del controlador del robot

Los pasos para conectar el láser son:

- Activar la consola del láser mediante el interruptor situado en el panel trasero
- Activar el refrigerador mediante el interruptor del panel frontal.
- Abrir el flujo de aire de la boquilla del láser mediante la llave situada en el lateral del láser.
- Opcionalmente, se puede activar el led indicador del punto de incidencia del láser.
 - Seleccionar el tipo de disparo que se desea, según se explica en la sección 2.1.2

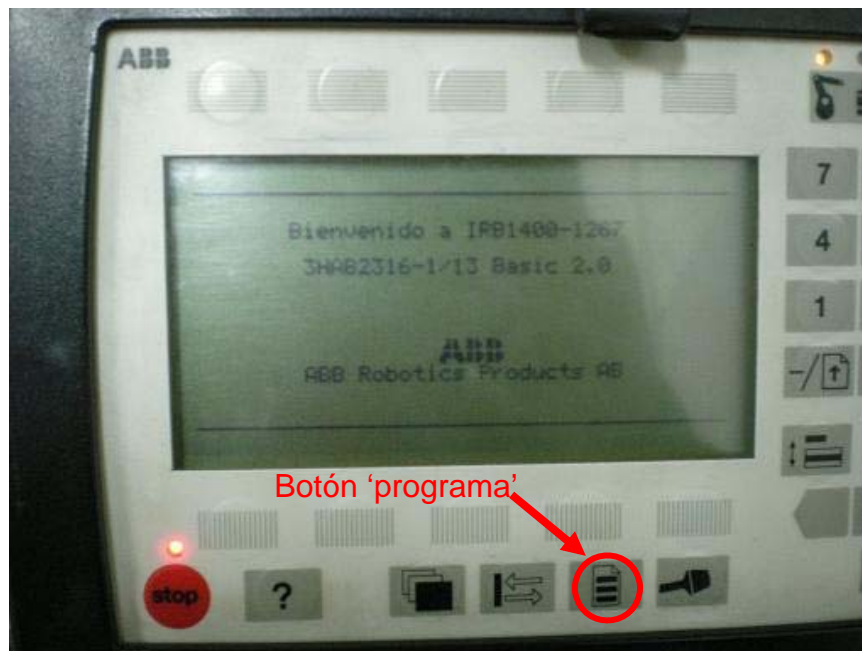


Imagen 3.6
Pantalla de bienvenida

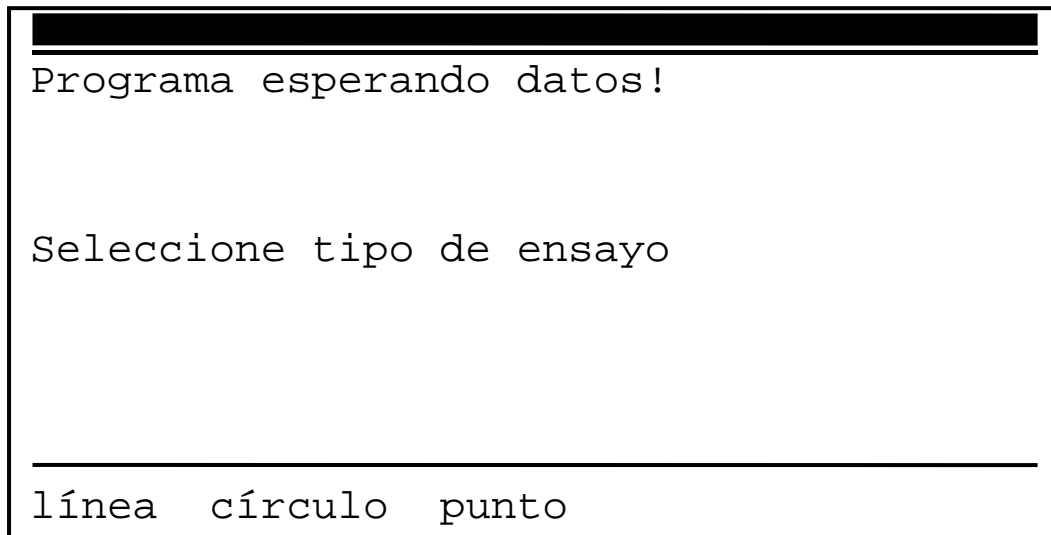
- En el controlador del robot pulsar el botón 'programa' y cargar el programa correspondiente seleccionando el menú 'archivo' -> 'cargar' (En nuestro caso se utiliza el programa 'laser.exe')

- pulsar 'test'
- Girar la llave del armario del robot a la posición "producción"
- Aparecerá un mensaje en el controlador pidiendo confirmación: pulsar OK
- pulsar el botón 'motores ON'



Imagen 3.7
Panel robot

En este momento el programa está cargado y listo para comenzar a ejecutarse.
El controlador muestra el menú “inicio” en la pantalla:



The image shows a terminal window with a black border. At the top, there is a thick black horizontal bar. Below it, the text "Programa esperando datos!" is displayed in a monospaced font. Further down, the text "Seleccione tipo de ensayo" is shown. At the bottom, a horizontal line is drawn, and below it, the options "línea", "círculo", and "punto" are listed, separated by spaces.

```
Programa esperando datos!  
  
Seleccione tipo de ensayo  
  
línea  círculo  punto
```

Elegimos uno de los ensayos.

En las siguientes secciones se explican las opciones para cada uno de los ensayos.

3.2.1 – Ensayo LÍNEA

En primer lugar se debe definir la altura del ensayo:

Programa esperando datos!

La altura actual es:

0.00

altura de ensayo?(mm)

OK

Si se pulsa la tecla “intro” sin introducir ningún valor, el robot interpreta que se ha introducido un valor cero, por lo que nos pide confirmación:

Programa esperando datos!

ADVERTENCIA: Ha introducido 0 mm de altura

Confirme si desea mantener la altura ACTUAL o ir a CERO mm

ACTUAL CERO

El robot sitúa en el punto de incidencia del láser en el punto inicial de la probeta y nos muestra en pantalla el menú “línea”, con las siguientes opciones:

Programa esperando datos!

Elija AVANZAR a la siguiente posición
RETROCEDER
variar ALTURA
DISPARAR

AVANZAR RETROC. ALTURA DISPARAR inicio

AVANZAR: avanza al siguiente punto sin disparar el láser

RETROCEDER: retrocede hasta el punto inicial de la línea

DISPARAR: Realiza un disparo del láser coordinado con el movimiento del robot. Una vez realizado, nos muestra de nuevo el menú “línea”

ALTURA: Nos lleva al menú de determinación de altura

inicio: cancela y vuelve al menú inicial

Si elegimos DISPARAR el robot advierte de la necesidad de cumplir las normas de seguridad y pide confirmación. Es el momento de comprobar si la configuración del láser es la correcta y se cumplen las medidas de seguridad necesarias, así como el uso de gafas de seguridad, y confirmar el disparo o, en caso contrario, cancelar:

Programa esperando datos!

ATENCIÓN

está a punto de disparar el láser
compruebe que lleva gafas protectoras
y cumple las medidas de seguridad
seleccione

DISPARAR CANCELAR

Si cancelamos volvemos al menú anterior, si confirmamos pulsando DISPARAR se produce el disparo coordinado con el desplazamiento del robot, dando lugar a una marca lineal más o menos intensa en función de la potencia del láser. Mientras el láser está activo, aparece el siguiente mensaje en la pantalla:

Operador

Registro de operador

PRECAUCIÓN: LÁSER ACTIVO

Tras el ensayo, volvemos de nuevo al menú “línea”, pudiendo realizar otro ensayo tipo línea, o volver al menú “inicio”, hasta que se alcance la posición final de la probeta, momento en que el ensayo se da por finalizado.

3.2.2 – Ensayo CÍRCULO

Si en el menú inicial elegimos la opción ‘círculo’, en primer lugar debemos precisar la altura del ensayo:

Programa esperando datos!

La altura actual es:

0.00

altura de ensayo?(mm)

OK

Seleccionamos una de las posiciones a ensayar, de la 1 a la 8:

Programa esperando datos!

Seleccione posición (1 a 8)

OK

Si seleccionamos un valor no válido obtenemos un mensaje de error:

Programa esperando datos!

Número no válido

El número debe estar entre 1 y 8

ACEPTAR

Tras seleccionar la posición, el robot realiza un movimiento para verificar si es la correcta, ofreciendo la opción confirmar o elegir otra diferente:

Operador

Registro de operador

VERIFICAR POSICIÓN

Una vez confirmada, pasamos al menú con las diferentes opciones para el ensayo círculo:

Programa esperando datos!

Pulse CAMBIAR para seleccionar otra posición
DISPARAR para iniciar el corte
Inicio para volver al menú

CAMBIAR DISPARAR inicio

CAMBIAR: Para volver al menú seleccionar posición

DISPARAR: Para disparar el círculo externo.

Si seleccionamos DISPARAR nos aparecerá el mensaje de advertencia. Tras el mensaje de advertencia, confirmamos el disparo, y se produce el movimiento circular coordinado con el disparo del láser:

Operador

Registro de operador

PRECAUCIÓN: LÁSER ACTIVO

A continuación comprobamos si el corte es satisfactorio o es necesario repetirlo. Si es necesario, pulsamos REPETIR, en caso contrario, CONTINUAR:

Programa esperando datos!

Seleccione REPETIR el corte o CONTINUAR

REPETIRCONTINUA

Antes de proceder al corte del círculo interno se nos pide confirmación:

Programa esperando datos!

Pulse ACEPTAR para disparar el círculo pequeño o CANCELAR

ACEPTARCANCELAR

De nuevo comprobamos si es necesario repetir, pulsando REPETIR, o si es satisfactorio, tras lo cual pulsamos CONTINUAR, dándose por finalizado el ensayo.

Programa esperando datos!

Fin del ensayo

ACEPTAR

3.2.3 – Ensayo PUNTO

En primer lugar debemos determinar la altura del ensayo.
Determinamos las dimensiones X e Y del área a ensayar, pulsando la tecla “intro” tras introducir cada dato:

Programa esperando datos!

Indique longitud X del defecto (mm)

OK

Programa esperando datos!

Indique longitud X del defecto (mm)

Indique anchura Y del defecto (mm)

OK

A continuación el programa nos pide situar el centro del área objetivo bajo el punto de incidencia del láser:

Programa esperando datos!

ATENCIÓN

está a punto de disparar el láser
compruebe que lleva gafas protectoras
y cumple las medidas de seguridad
seleccione

DISPARAR CANCELAR

Una vez confirmado el programa activa el láser mientras el robot realiza un movimiento de zig zag, barriendo todo el área indicada.

Una vez finalizado nos muestra el mensaje “fin del ensayo”

Programa esperando datos!

Fin del ensayo

ACEPTAR

Al pulsar ACEPTAR volvemos al menú inicial.

Sección IV

Conclusiones

4.1 – Conclusiones finales

Una vez finalizado el proceso experimental de desarrollo del sistema, se han llevado a cabo una serie de pruebas mediante las cuales se ha demostrado que el sistema cumple con los objetivos propuestos inicialmente:

Se ha establecido una conexión entre el robot y el láser, 2 sistemas que funcionaban de forma aislada e independiente, de manera que ahora es posible su funcionamiento sincronizado.

Se ha desarrollado un programa que gestiona esta comunicación, y que permite realizar varios tipos de trabajos. Además este programa es de fácil uso gracias a su interfaz interactiva, que permite que un operario sin conocimientos previos pueda manejar el sistema de forma segura, y cumpliendo con las normas de seguridad.

El sistema resultante es altamente versátil, se pueden obtener diferentes resultados simplemente variando la potencia del láser o variando ciertos parámetros del programa. Mediante modificaciones mayores en el programa, se pueden realizar trabajos más complejos.

En definitiva, de una forma relativamente sencilla, se ha conseguido implantar un sistema con prestaciones comparables a sistemas comerciales complejos de alto coste.

4.2 – Trabajos futuros

A lo largo del desarrollo del proyecto han surgido nuevas ideas y también algunos inconvenientes que han dado lugar a que se piense en una serie de modificaciones y mejoras respecto al sistema actual, que no se han llevado a cabo por considerar que quedan fuera del alcance de este proyecto.

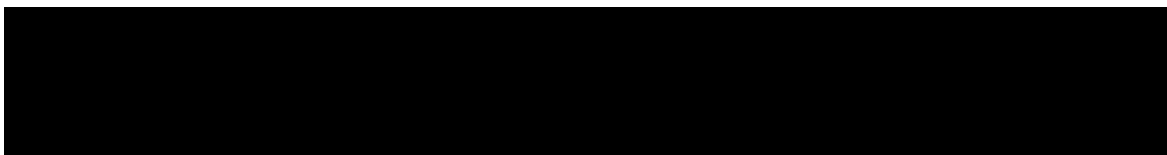
Se propone para futuros proyectos la programación de modos de disparo del láser, a fin de poder ser seleccionados por el robot a través de las señales "Selección de programa" ("Program Select" o PS<0.3>) del puerto USER 1.

Para tareas de oxicorte puede conectarse una electroválvula comandada por el software para abrir el flujo de gas únicamente en los instantes en que el láser esté activo.

4.3 – Referencias

- [1] Alberto Cuesta Arranz, “Tecnología láser”, Ed. Marcombo, 2010
- [2] T. Davison, “El libro del láser” Ed. Paidotribo, 2007
- [3] Josep Calderer Cardona, Lluís Prat Vinas “Dispositivos electrónicos y fotónicos: Fundamentos”, Ediciones UPC 2003
- [4] Manuel Yuste Llandres, Carmen Carreras Bejar, “Fundamentos de la radiación láser” UNED, 1992.
- [5] Antonio Barrientos, Luis Felipe Peñín, Carlos Balaguer, Rafael Aracil Santonja, “Fundamentos de robótica”, Ed. McGraw Hill, 2007.
- [6] www.cea-ifac.es (Consultado en noviembre de 2011)
- [7] Jose Santos y Richard J. Duro, “Evolución artificial y robótica autónoma” Ed. RA-MA, 2004
- [8] www.rofin.com

Anexos



Anexo I – Código comentado

A continuación se presenta el código del programa, debidamente comentado para facilitar su comprensión.

Este capítulo es de lectura recomendada si se desea modificar el código del programa. En otro caso, su lectura resulta innecesaria.

El programa está estructurado en rutinas, las cuales se pueden dividir en 4 grupos:

Rutinas asociadas al ensayo 'Línea':

- línea
- menu_LINEA
- disparo_LINEA

Rutinas asociadas al ensayo 'Círculo'

- circulo
- menú_CIRC
- movto_CIRCULO_G
- CIRCULO_PQ
- disparo_CIRC

Rutinas asociadas al ensayo 'Punto'

- punto
- TAM_pto
- disparo_PUNTO

Rutinas comunes:

No están asociadas a ningún ensayo en particular, pudiendo ser comunes a todos ellos:

- main
- inicio
- altura
- advertencia
- LASER_ON
- LASER_OFF

Las rutinas se han listado siguiendo éste orden.

Además de las rutinas, el programa incluye un bloque de declaración de variables, que aparece al principio del listado, precediendo a las rutinas.

Para la redacción del código comentado se han utilizado 2 tipos de fuente para diferenciar el código de los comentarios:

Fuente utilizada para el código: Courier new tamaño 10 pto.

Fuente utilizada para los comentarios: Arial tamaño 12 pto.

A continuación se lista el código completo:

```
%%%  
  VERSION:1  
  LANGUAGE:ENGLISH  
%%%  
  
MODULE BETA4  
  
Bloque de definición de variables  
  
VAR num confirma_altura:=0;  
  VAR num circ_fin:=0;  
  CONST robtarget PC18:=[[20,2.05,-5.05],[0.513171,-0.499483,-  
0.499647,0.487367],[-1,-1,-  
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];  
  VAR num selec_LINEA:=0;  
  VAR num selec_CIRCULO:=0;  
  VAR num v_inicial:=0;  
  CONST robtarget PC14_P:=[[20,36,-5],[0.513211,-0.499446,-
```

```

0.499709,0.487298],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget PC13_P:=[[29,45,-5],[0.513214,-0.499443,-
0.499726,0.487281],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget PC12_P:=[[20,54,-5],[0.513216,-0.499436,-
0.499743,0.487268],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget PC11_P:=[[11,45,-5],[0.513214,-0.499443,-
0.499726,0.487281],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p80:=[[10,45.009998,-5.04],[0.513243,-0.499423,-
0.499814,0.487181],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR string str_altura:="";
    CONST robtarget p70:=[[9.99,45.32,42.64],[0.557969,-0.449119,-
0.546368,0.434104],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p60:=[[10,45.33,42.65],[0.557972,-0.449119,-
0.546364,0.434103],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p50:=[[10,45.03,-5.06],[0.513243,-0.499432,-
0.499821,0.487165],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget PC17:=[[9.99,45.03,-5.06],[0.513242,-0.499433,-
0.49982,0.487166],[-1,-1,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR robtarget P_alt_actual:=[[10,45.02,-5.05],[0.513236,-0.499431,-
0.499793,0.487202],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR num T_defY:=0;
    CONST robtarget PC16:=[[19.99,2.02,-5.06],[0.513164,-0.499479,-
0.499682,0.487342],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR num desplz_altura:=0;
    VAR num altura_actual:=0;
    VAR robtarget Pref_altura:=[[10,45.009998,-5.06],[0.513236,-
0.499435,-0.499819,0.487171],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR num cancela:=0;
    VAR num tipo_ensayo:=0;
    CONST robtarget p40:=[[10,44.97,-5.06],[0.51322,-0.499441,-
0.499802,0.487199],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p30:=[[10,14.99,-5.06],[0.51315,-0.499478,-
0.499616,0.487426],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR robtarget p_inicial:=[[0,0,-25],[0.51324,-0.499432,-
0.499844,0.487144],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR pose offset_altura:=[[0,0,0],[1,0,0,0]];
    CONST robtarget PC15:=[[34.84,20.36,-5.31],[0.513244,-0.499413,-
0.499853,0.487151],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p19:=[[34.84,20.36,-5.3],[0.513242,-0.499412,-
0.499844,0.487162],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR num pos_C:=0;
    VAR num T_defX:=0;
    CONST robtarget p18:=[[24.99,2.02,-5.04],[0.513169,-0.499471,-

```

```

0.499641,0.487386],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
VAR robtarget PIL:=[[9.98,266.13,-5.08],[0.513225,-0.49947,-
0.499735,0.487233],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC85:=[[9.98,69.97,-5.07],[0.513184,-0.499458,-
0.499758,0.487264],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC84:=[[70,60,-5],[0.513171,-0.499465,-
0.499668,0.487363],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC83:=[[80,70,-5],[0.513165,-0.499472,-
0.499665,0.487366],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC82:=[[70,80,-5],[0.513167,-0.49947,-
0.499663,0.487368],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC81:=[[60,70,-5],[0.513174,-0.499458,-
0.499675,0.48736],[-1,-1,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC74:=[[70,35,-5],[0.513171,-0.499465,-
0.499668,0.487363],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC73:=[[80,45,-5],[0.513165,-0.499472,-
0.499665,0.487366],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC72:=[[70,55,-5],[0.513167,-0.49947,-
0.499663,0.487368],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC71:=[[60,45,-5],[0.513167,-0.49947,-
0.499663,0.487368],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC64:=[[70,10,-5],[0.513171,-0.499465,-
0.499668,0.487363],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC63:=[[80,20,-5],[0.513172,-0.499465,-
0.499658,0.487373],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC62:=[[70,30,-5],[0.513171,-0.499465,-
0.499668,0.487363],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC61:=[[60,20,-5],[0.513167,-0.49947,-
0.499653,0.487378],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC54:=[[45,60,-5],[0.513173,-0.499467,-
0.499666,0.487361],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC53:=[[55,70,-5],[0.513165,-0.499472,-
0.499665,0.487366],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC52:=[[45,80,-5],[0.513172,-0.499465,-
0.499658,0.487373],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC51:=[[35,70,-5],[0.513165,-0.499472,-
0.499665,0.487366],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC44:=[[45,35,-5],[0.513172,-0.499465,-
0.499658,0.487373],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget PC43:=[[55,45,-5],[0.51317,-0.49947,-

```



```

0.49965,0.487378],[-1,-1,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC42:=[[45,55,-5],[0.513171,-0.499465,-
0.499668,0.487363],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC41:=[[35,45,-5],[0.513171,-0.499465,-
0.499668,0.487363],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC34:=[[45,10,-5],[0.513167,-0.499473,-
0.499663,0.487365],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC33:=[[55,20,-5],[0.513168,-0.499472,-
0.499661,0.487366],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC32:=[[45,30,-5],[0.513169,-0.499467,-
0.49968,0.487352],[-1,-1,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC31:=[[35,20,-5],[0.513168,-0.499472,-
0.499661,0.487366],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC24:=[[20,60,-5],[0.513168,-0.499472,-
0.499661,0.487366],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC23:=[[30,70,-5],[0.513172,-0.499465,-
0.499658,0.487373],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC22:=[[20,80,-5],[0.513168,-0.499472,-
0.499661,0.487366],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC21:=[[10,70,-5],[0.513167,-0.49947,-
0.499663,0.487368],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget p152:=[[74.99,2.01,-5.08],[0.513214,-0.499443,-
0.499726,0.487281],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC14:=[[20,35,-5],[0.513211,-0.499446,-
0.499709,0.487298],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC13:=[[30,45,-5],[0.513214,-0.499443,-
0.499726,0.487281],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC12:=[[20,55,-5],[0.513216,-0.499436,-
0.499743,0.487268],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget PC11:=[[10,45,-5],[0.513214,-0.499443,-
0.499726,0.487281],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget p151:=[[80,2,-5],[0.513217,-0.499449,-
0.499628,0.487372],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget p141:=[[75,2,-5],[0.513214,-0.499448,-
0.499621,0.487384],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget p131:=[[70,2,-5],[0.513214,-0.499448,-
0.499621,0.487384],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget p121:=[[65,2,-5],[0.513212,-0.499454,-
0.499623,0.487377],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget p111:=[[60,2,-5],[0.513212,-0.499454,-
0.499623,0.487377],[-1,-1,-

```

```

1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p101:=[[55,2,-5],[0.513212,-0.499454,-
0.499623,0.487377],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p91:=[[50,2,-5],[0.513214,-0.499448,-
0.499621,0.487384],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p81:=[[45,2,-5],[0.513217,-0.499441,-
0.499628,0.487381],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p71:=[[40,2,-5],[0.513214,-0.499448,-
0.499621,0.487384],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p61:=[[35,2,-5],[0.513217,-0.499449,-
0.499628,0.487372],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p44:=[[24.97,30.03,-5.04],[0.513183,-0.499472,-
0.499668,0.487343],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR num CONT_L:=0;
    VAR robtarget p0:=[[9.99,14.98,-55.05],[0.513147,-0.499477,-
0.499592,0.487454],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    VAR num OFFS_Y:=0;
    VAR num OFFS_X:=0;
    CONST robtarget p34:=[[9.99,14.99,-55.06],[0.513145,-0.49948,-
0.499593,0.487452],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p25:=[[9.99,14.98,-55.05],[0.513147,-0.499477,-
0.499592,0.487454],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p24:=[[9.99,14.98,-55.05],[0.513147,-0.499477,-
0.499592,0.487454],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p17:=[[9.99,14.99,-55.05],[0.513142,-0.499485,-
0.499578,0.487466],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p20:=[[9.99,14.99,-14.05],[0.513148,-0.499485,-
0.499595,0.487442],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p16:=[[9.99,60.02,-5.07],[0.513168,-0.499491,-
0.499676,0.487332],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p15:=[[9.99,15,-5.03],[0.513154,-0.49948,-
0.499567,0.487469],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST zonedata zoned1:[FALSE,50,75,75,7.5,75,7.5];
    CONST robtarget p14:=[[9.99,14.99,-5.05],[0.513155,-0.499475,-
0.499585,0.487455],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p53:=[[25,60,-5],[0.513158,-0.499476,-
0.499601,0.487434],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p52:=[[25,30,-5],[0.513149,-0.499482,-
0.499581,0.487457],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget p51:=[[30,2,-5],[0.513149,-0.499482,-
0.499581,0.487457],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

```

```

CONST robtarget p43:=[[25,60,-5],[0.513158,-0.499476,-
0.499601,0.487434],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p42:=[[25,30,-5],[0.513158,-0.499475,-
0.499592,0.487444],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p41:=[[25,2,-5],[0.513158,-0.499475,-
0.499592,0.487444],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p33:=[[20,60,-5],[0.513158,-0.499475,-
0.499592,0.487444],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p32:=[[20,30,-5],[0.513158,-0.499475,-
0.499592,0.487444],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p31:=[[20,2,-5],[0.513155,-0.499475,-
0.499585,0.487455],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p23:=[[15,60,-5],[0.513158,-0.499475,-
0.499592,0.487444],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p22:=[[15,30,-5],[0.51316,-0.499474,-
0.4996,0.487435],[-1,-1,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p21:=[[15,15,-5],[0.513162,-0.499476,-
0.499598,0.487434],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p13:=[[10,60,-5],[0.513155,-0.499475,-
0.499585,0.487455],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p12:=[[10,30,-5],[0.513157,-0.499474,-
0.499593,0.487446],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
VAR robtarget p11:=[[10,15,-5],[0.513137,-0.499499,-
0.499506,0.487531],[-1,-1,-
2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget p10:=[[1149.34,-428.05,968.7],[0.424625,-
0.424204,0.564669,-0.566475],[-1,-1,-
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

```

Bloque de rutinas

Rutina linea:

Rutina principal del ensayo 'línea'. En primer lugar se pide indicar la altura del ensayo, y a continuación se sitúa en el punto inicial del ensayo línea (P31) y llama a la rutina 'menu_linea', que ofrece las principales opciones para este ensayo.

Cuando se llega al final de la probeta se indica mediante un mensaje de texto.

```

PROC linea()
    altura;
    MoveL p31,v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;

```

```
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p41,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p51,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p61,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p71,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p81,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p91,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p101,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p111,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
```

```
menu_LINEA;
IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p121,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p131,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p141,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
MoveL p151,v200,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
PIL:=CRobT();
CONT_L:=0;
WHILE CONT_L<3 DO
    menu_LINEA;
    IF selec_LINEA=5 RETURN;
ENDWHILE
TPerase;
TPReadFK reg1,"Final de la probeta","", "", "", "", "", "ACEPTAR";
TPerase;
RETURN;
ENDPROC
```

Rutina menu_LINEA:

Ofrece las opciones principales del ensayo línea:

Avanzar: Pasar al siguiente punto sin realizar un disparo.

Retroceder: Retroceso hasta el punto inicial de la línea actual, indicado mediante la variable PIL.

Variar altura: Llamada a la rutina 'altura'.

Disparar: Realiza un disparo.

```
PROC menu_LINEA()
    TPerase;
    TPWrite "Elija AVANZAR a la siguiente posicion";
    TPWrite "RETROCEDER";
    TPWrite "variar ALTURA ";
    TPWrite "DISPARAR";
    TPReadFK selec_LINEA,"","AVANZAR","RETROC.", "ALTURA",
    "DISPARAR","inicio";
```

```
TPERase;
TEST selec_LINEA
CASE 1:
    Incr CONT_L;
    IF CONT_L>2 RETURN;
    p0:=CRobT();
    MoveL Offs(p0,0,28,0),v200,z1,tool0\WObj:=wobj_LASER;
    RETURN;
CASE 2:
    CONT_L:=0;
    MoveL PIL,v1000,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
    RETURN;
CASE 3:
    altura;
    RETURN;
CASE 4:
    advertencia;
    IF cancela=1 disparo_LINEA;
DEFAULT:
    RETURN;
ENDTEST
ENDPROC
```

Rutina disparo_LINEA

Realización del disparo en el ensayo 'línea'. Se realiza un movimiento a la vez que se dispara el láser. Al llegar al final de la 3ª línea se realiza una espera de 1 segundo para que el robot se detenga antes de cambiar de trayectoria para desplazarse al punto inicial de la siguiente línea inferior.

```
PROC disparo_LINEA()
    p0:=CRobT();
    LASER_ON;
    MoveL Offs(p0,0,28,0),v10,z1,tool0\WObj:=wobj_LASER;
    LASER_OFF;
    Incr CONT_L;
    IF CONT_L>2 WaitTime 1;
ENDPROC
```

Rutina circulo:

Rutina principal del ensayo 'círculo'. En primer lugar se pide indicar la altura del ensayo, a continuación se debe elegir la posición a disparar, seleccionando un valor entre 1 y 8. Si se elige un valor fuera de este rango aparece un mensaje de error. Una vez seleccionada la posición se realiza un movimiento circular para su verificación.

```
PROC circulo()
    MoveL PC11,v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
    altura;
```

```
PDispOff;
p0:=CRobT();
PDispOn\ExeP:=p0,PC11,tool0\WObj:=wobj_LASER;
TPErase;
TPReadNum pos_C,"Seleccione posicion (1 a 8)";
TPErase;
TPWrite " ";
TPWrite " ";
TPWrite " ";
TPWrite " ";
TPWrite " ";
TPWrite " ";
TPWrite " VERIFICAR POSICION ";
TEST pos_C
CASE 1:
  movto_CIRCULO_G;
  menu_CIRC;
  p0:=CRobT();
  PDispOn\ExeP:=p0,PC11,tool0\WObj:=wobj_LASER;
CASE 2:
  MoveL PC21,v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
  movto_CIRCULO_G;
  menu_CIRC;
  p0:=CRobT();
  PDispOn\ExeP:=p0,PC21,tool0\WObj:=wobj_LASER;
CASE 3:
  MoveL PC31,v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
  movto_CIRCULO_G;
  menu_CIRC;
  p0:=CRobT();
  PDispOn\ExeP:=p0,PC31,tool0\WObj:=wobj_LASER;
CASE 4:
  MoveL PC41,v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
  movto_CIRCULO_G;
  menu_CIRC;
  p0:=CRobT();
  PDispOn\ExeP:=p0,PC41,tool0\WObj:=wobj_LASER;
CASE 5:
  MoveL PC51,v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
  movto_CIRCULO_G;
  menu_CIRC;
  p0:=CRobT();
  PDispOn\ExeP:=p0,PC51,tool0\WObj:=wobj_LASER;
CASE 6:
  MoveL PC61,v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
  movto_CIRCULO_G;
  menu_CIRC;
  p0:=CRobT();
  PDispOn\ExeP:=p0,PC61,tool0\WObj:=wobj_LASER;
CASE 7:
  MoveL PC71,v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
  movto_CIRCULO_G;
  menu_CIRC;
  p0:=CRobT();
  PDispOn\ExeP:=p0,PC71,tool0\WObj:=wobj_LASER;
CASE 8:
  MoveL PC81,v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
  movto_CIRCULO_G;
  menu_CIRC;
```

```
p0:=CRobT();
PDispOn\ExeP:=p0,PC81,tool0\WObj:=wobj_LASER;
DEFAULT:
  TPErase;
  TPWrite "Numero no valido";
  TPReadFK reg1,"El numero debe estar entre 1 y
8","ACEPTAR","","","","";
  ENDTEST
  TPErase;
ENDPROC
```

Rutina menú_CIRC

Es la rutina principal del ensayo 'círculo'. Imprime en pantalla las opciones para este ensayo, que son seleccionar otra posición, disparar en la posición actual o cancelar y volver al menú inicial

PROC menu_CIRC()

```
TPErase;
TPWrite "";
TPWrite "Pulse CAMBIAR para seleccionar otra      posicion";
TPWrite "DISPARAR para iniciar el corte";
TPReadFK selec_CIRCULO,"inicio para volver al
menu","CAMBIAR","DISPARAR","","","inicio";
TPErase;
IF selec_CIRCULO=2 disparo_CIRC;
RETURN;
ENDPROC
```

Rutina movto_CIRCULO_G

En primer lugar se realiza un desplazamiento de programa desde el punto actual al punto de referencia de los ensayos círculo (PC11). A continuación, mediante 2 sentencias moveC, cada una de las cuales realiza una semicircunferencia, recorre una trayectoria circular. Por último se cancela el último desplazamiento de programa realizado.

```
PROC movto_CIRCULO_G()
  PDispOn PC11,tool0\WObj:=wobj_LASER;
  MoveC PC12,PC13,v10,z1,tool0\WObj:=wobj_LASER;
  MoveC PC14,PC11,v10,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
  PDispOff;
  PDispOn\ExeP:=p0,PC11,tool0\WObj:=wobj_LASER;
ENDPROC
```

Rutina CIRCULO_PQ:

En primer lugar se realiza un desplazamiento de programa desde el

punto actual al punto de referencia de los ensayos círculo (PC11). A continuación, mediante 2 sentencias moveC, cada una de las cuales realiza una semicircunferencia, recorre una trayectoria circular a la vez que se dispara el láser.

```
PROC movto_CIRCULO_PQ()  
  PDispOn PC11,tool0\Wobj:=wobj_LASER;  
  MoveL PC11_P,v200,fine,tool0\Wobj:=wobj_LASER;  
  LASER_ON;  
  WaitTime 1;  
  MoveC PC12_P,PC13_P,v10,z1,tool0\Wobj:=wobj_LASER;  
  MoveC PC14_P,PC11_P,v10,fine,tool0\Wobj:=wobj_LASER;  
  LASER_OFF;  
  MoveL PC11,v10,fine,tool0\Wobj:=wobj_LASER;  
  PDispOff;  
  WaitTime 1;  
ENDPROC
```

Rutina disparo_CIRC:

Disparo del círculo grande. Se muestra un mensaje de advertencia para confirmar el disparo, en cuyo caso se activa el láser mediante la rutina LASER_ON, se espera 1 segundo para que el láser alcance su máxima intensidad y a continuación se realiza un movimiento circular mediante la rutina movto_CIRCULO_G. Finalmente se ofrece la opción de repetir el corte o pasar al círculo interno.

```
PROC disparo_CIRC()  
  circ_fin:=2;  
  WHILE circ_fin=2 DO  
    advertencia;  
    IF cancela=3 RETURN;  
    LASER_ON;  
    WaitTime 1;  
    movto_CIRCULO_G;  
    LASER_OFF;  
    TPErase;  
    TPreadFK circ_fin,"Seleccione REPETIR el corte o  
CONTINUAR","","REPETIR","","CONTINUAR","";  
    TPErase;  
  ENDWHILE  
  TPErase;  
  TPreadFK reg1,"Pulse ACEPTAR para disparar el circulo pequeño o  
CANCELAR","ACEPTAR","","","CANCELAR";  
  TPErase;  
  TEST reg1  
  CASE 1:  
    altura;  
    circ_fin:=2;
```

```
WHILE circ_fin=2 DO
  advertencia;
  IF cancela=3 RETURN;
  movto_CIRCULO_PQ;
  TPErase;
  TPreadFK circ_fin,"Seleccione REPETIR el corte o
CONTINUAR","","REPETIR","","CONTINUAR","";
  TPErase;
ENDWHILE
DEFAULT:
  RETURN;
ENDTEST
TPreadFK reg1,"Fin del ensayo","","","","","ACEPTAR";
ENDPROC
```

Rutina punto:

Rutina principal del ensayo 'punto'. En primer lugar se pide indicar la altura del ensayo y el tamaño X e Y de la zona a disparar. A continuación se pide situar el centro del defecto bajo el punto de disparo del láser, y por último se procede a disparar.

```
PROC punto()
  altura;
  TAM_pto;
  MoveL PC41,v100,fine,tool0\Wobj:=wobj_LASER;
  TPErase;
  TPreadFK reg1,"Situe el centro del defecto bajo el
puntero","","","ACEPTAR","","inicio";
  TPErase;
  IF reg1=5 RETURN;
  advertencia;
  IF cancela=1 disparo_PUNTO;
  TPreadFK reg1,"Fin del ensayo","","","","","ACEPTAR";
  TPErase;
  RETURN;
ENDPROC
```

Rutina TAM_pto

Lectura mediante la consola de las dimensiones X e Y del defecto

```
PROC TAM_pto()
  TPErase;
  TPreadNum T_defX,"Indique longitud X del defecto (mm)";
  TPreadNum T_defY,"Indique anchura Y del defecto (mm)";
  TPErase;
ENDPROC
```

Rutina disparo_PUNTO

Mediante un bucle FOR se realiza un movimiento de zigzag recorriendo

el área indicada por las dimensiones X e Y, indicadas anteriormente mediante la rutina TAM_pto

```
PROC disparo_PUNTO()  
  p0:=CRobT();  
  MoveL Offs(p0,0-T_defX/2,0-T_defY/2,0),  
v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;  
  LASER_ON;  
  FOR i FROM 0 TO T_defX DO  
    p0:=CRobT();  
    MoveL Offs(p0,0,T_defY,0),v1000,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;  
    p0:=CRobT();  
    MoveL Offs(p0,0.5,0,0),v1000,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;  
    p0:=CRobT();  
    IF i<T_defX THEN  
      MoveL Offs(p0,0,-T_defY,0),v1000,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;  
      p0:=CRobT();  
      MoveL Offs(p0,0.5,0,0),v1000,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;  
    ELSE  
      LASER_OFF;  
      MoveL Offs(p0,0,-T_defY,0),v1000,z1,tool0\WObj:=wobj_LASER;  
    ENDIF  
  ENDFOR  
ENDPROC
```

Rutina main:

Cuando el robot comienza a ejecutar el programa el primer paso es la llamada a la rutina main. En este caso simplemente se inicializan unas variables y entra en un bucle para ejecutar la rutina inicio, que es la primera en este programa.

```
PROC main()  
  PDispOff;  
  MoveL PC11,v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;  
  VAR_altura:=0;  
  altura_actual:=0;  
  v_inicial:=1;  
  WHILE v_inicial=1 DO  
    inicio;  
  ENDWHILE  
ENDPROC
```

Rutina inicio:

Rutina principal del programa, es llamada desde la rutina main y nos ofrece un menú para seleccionar qué ensayo se realizará: línea, círculo o punto

```
PROC inicio()  
  TPErase;
```

```
TPReadFK tipo_ensayo,"Seleccione tipo de
ensayo","linea","circulo","punto","","";
TPERase;
TEST tipo_ensayo
CASE 1:
    linea;
    RETURN;
CASE 2:
    circulo;
    RETURN;
CASE 3:
    punto;
    RETURN;
DEFAULT:
    RETURN;
ENDTEST
ENDPROC
ENDMODULE
```

Rutina altura:

Modificación de la altura a la que se realizan los ensayos, es decir, la distancia entre la pieza y la boquilla del láser. Si se pulsa 'intro' sin introducir ningún número el robot lo interpreta como un cero, por lo que en tal caso se muestra un mensaje de confirmación.

```
PROC altura()
    Pref_altura:=CRobT();
    TPERase;
    TPWrite "La altura actual es:";
    TPWrite NumToStr(altura_actual,2);
    TPReadNum VAR_altura,"altura de ensayo?(mm)";
    TPERase;
    IF VAR_altura=0 THEN
        TPWrite "ADVERTENCIA: Ha introducido 0 mm de altura";
        TPReadFK confirma_altura,"Confirme si desea mantener la altura
ACTUAL o ir a CERO mm","ACTUAL","", "CERO","","";
        IF confirma_altura=1 VAR_altura:=altura_actual;
    ENDIF
    TPERase;
    desplz_altura:=VAR_altura-altura_actual;
    MoveL Offs(Pref_altura,0,0,0-
desplz_altura),v100,fine,tool0\WObj:=wobj_LASER;
    altura_actual:=VAR_altura;
    P_alt_actual:=CRobT();
    PDispOn\ExeP:=P_alt_actual,Pref_altura,tool0\WObj:=wobj_LASER;
ENDPROC
```

Rutina advertencia:

Impresión en la pantalla de un mensaje de advertencia para confirmar o cancelar la activación del láser. El resultado de la selección se almacena en la

variable 'cancela', que es consultada por la rutina que ha llamado a esta subrutina.

```
PROC advertencia()  
  TPErase;  
  TPWrite "ATENCION";  
  TPWrite "esta a punto de disparar el laser";  
  TPWrite "compruebe que lleva gafas protectoras";  
  TPWrite "y cumple las medidas de seguridad";  
  TPReadFK cancela,"seleccione","DISPARAR","", "CANCELAR","", "";  
  TPErase;  
ENDPROC
```

Rutina LASER_ON:

Apertura del obturador y activación del láser con un retardo de 0.5s para asegurar que la probeta se encuentra en movimiento y evitar que se produzca una quemadura puntual. Se muestra un mensaje de advertencia de la activación del láser en la pantalla de la consola.

```
PROC LASER_ON()  
  SetDO SHUTTER,1;  
  SetDO\SDelay:=0.5,LASER,1;  
  TPWrite " ";  
  TPWrite " ";  
  TPWrite " ";  
  TPWrite " ";  
  TPWrite " ";  
  TPWrite " ";  
  TPWrite "PRECAUCION: LASER ACTIVO";  
ENDPROC
```

Rutina LASER_OFF:

Desactivación del láser y cierre del obturador y borrado de la pantalla de la consola, en este orden.

```
PROC LASER_OFF()  
  Reset LASER;  
  Reset SHUTTER;  
  TPErase;  
ENDPROC
```

Anexo II

Hoja de catálogo ABB



Main Application Arc welding



Your best performer

The IRB 1410 gives you fast and reliable work cycles that boost productivity. The robot is proven in arc welding applications and provides outstanding performance and value, ensuring short payback times.

The robot has a handling capacity of 5kg at the wrist with a unique 18kg additional load for applications equipment on the upper arm. **Superior levels of control and path-following accuracy** provide excellent work quality.

The ability to adjust process speed and position means you achieve optimum manufacturing accuracy with little or no rejects.

IRB 1410 is known for its stiff and robust construction. This translates into low noise levels, long intervals between routine maintenance and long service life. The robot has a large working area and long reach. The compact design, very slim wrist and high performance operation even in difficult and restricted locations.

Adapted for arc welding

The IRB 1410 has integrated wire feed cabling and mounting holes for optimized assembly of process equipment on the arm. Easy-to-use arc welding functions are included as standard in the IRC5 robot controller and made available via the patented programming and operation interface unit - the FlexPendant.

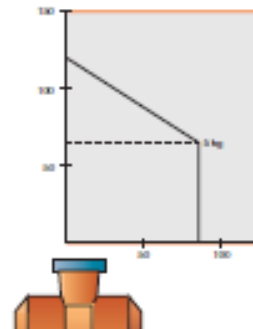
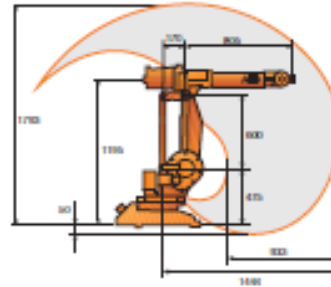
Power and productivity
for a better world™



IRB 1410

Specification		
Robot	Handling Capacity	Reach of 5 th axis
	5 kg	1.44 m
Supplementary load		
on axis 3	18 kg	
on axis 1	19 kg	
Number of axes		
Robot manipulator	6	
External devices	6	
Integrated signal supply	12 signals on upper arm	
Integrated air supply	Max. 8 bar on upper arm	
IRC5 Controller variants	Single cabinet, Compact	
Performance		
Position repeatability	0.05 mm (average result from ISO test)	
Movements	IRB 1410	
Max. TCP velocity	2.1 m/s	
Continuous rotation of axis	6	
Electrical Connections		
Supply voltage	200-600 V, 50/60 Hz	
Rated power,		
Transformer rating	4 kW/7.8 kVA with external axes	
Physical		
Robot mounting	Floor	
Dimensions		
Robot base	620 x 450 mm	
Weight		
Robot	225 kg	
Environment		
Ambient temperature		
Robot unit	5-45 °C	
Relative humidity	Max. 95%	
Degree of protection	Class D (dry) for welding, machining etc.	
Noise level	Max. 70 dB (A)	
Emission	EMC/EMI-shielded	
Clean room	Class 100 US Federal Standard 209e	
Data and dimensions may be changed without notice		

Working Range



© Copyright ABB Robotics. RRI1002EN, 10 May 2015.

Anexo III – Manual del láser

Operating Manual

ROFIN SC Range

MKIV Industrial Controller

This manual is copyrighted with all rights reserved. Under copyright laws, this manual may not be copied in whole or part or reproduced in any other media without the express permission of Rofin-Sinar UK Ltd. Permitted copies must carry the same proprietary and copyright notices as were affixed to the original. Under law, copying includes translation into another language.

Please note that while every effort has been made to ensure that the data given in this document is accurate, the information, figures, illustrations, tables, specifications and schematics contained herein are subject to change without notice. The most recent additions and supplementary information are given in the Additional Information Appendix.

Rofin-Sinar UK Ltd.
York Way
Willerby
Kingston upon Hull
U.K. HU10 6HD

Tel: 44 (0) 1482 650088
Fax: 44 (0) 1482 650022

December 2007

Contents

	Page
Section 1 Introduction	1-1
1.0 General Introduction	1-1
1.1 About This Manual	1-1
1.2 Safety Instructions & Precautions / General Information	1-2
1.3 Intended Use	1-2
1.4 Equipment Safety Standards	1-3
1.5 Electrical Hazard	1-3
1.6 Mains Supply	1-3
1.7 Fuses	1-4
1.8 Key Features	1-4
Section 2 Description	2-1
2.0 Features of the ROFIN SC Industrial Controller	2-1
2.1 Interface connections	2-3
2.2 Automode	2-6
2.3 Shutter Operation	2-7
2.4 Shutter Operation in Automode.	2-7
2.5 Emission Lamp	2-7

Section 3 Version 8 Software	3-1
3.0 Main Menu	3-1
3.1 Mode and Operation Options	3-2
3.2 Mode Options	3-3
3.3 Program Select	3-4
3.4 PP & PW	3-5
3.5 ToneBurst	3-6
3.6 StepBurst	3-8
3.7 Perforator	3-10
3.8 Scribe	3-11
3.9 Engineering Mode	3-13
3.10 Engineering-One shot	3-13
3.11 Engineering-Test	3-14
3.12 Operation Options	3-14
3.13 NC-PW (Fixed PP)	3-15
3.14 NC-PP (Fixed PW)	3-15
3.15 NC – Fixed Off-Time	3-16
3.16 NC – Fixed On-Time	3-16
3.17 Internal	3-16
3.18 Edit	3-17
3.19 Edit PP & PW	3-17
3.20 Edit ToneBurst	3-18
3.21 Edit StepBurst	3-19
3.22 Edit Perforator	3-20
3.23 Edit Scribe	3-21
3.24 Run	3-22
3.25 Option Menu.	3-23
3.26 Status	3-24
3.27 Overview	3-25
3.28 First Use	3-27

Section 4 Serial Interface Specification	4-1
4.0 Serial Interface Protocol	4-1
Table 1. Commands 50-53 for backwards compatibility	4-2
Table 2. Commands 60-63 for backwards compatibility	4-2
Table 3. Commands 64-69 Deleted in version 8	4-3
Table 4. Commands 70-77 Unchanged in version 8	4-3
Table 5. Commands 80-81 Added in version 8	4-4
Table 6. Commands 82-83 Added in version 8	4-4
Table 7. Commands 84-87 Added in version 8	4-5
Table 8. Status	4-5
Table 9. Mode and Operation Settings for PP/PW and Tone Burst Modes	4-6
Table 10. Mode and Operation Options for Step Burst, Perforate and Scribe Modes	4-6
Table 11. Mode and Operation Options for Step Burst, Perforate and Scribe Modes	4-7
 Appendix 1 Additional Information	

Figures

	Page
Figure 2.0-1 ROFIN SC Industrial Controller front panel	2-1
Figure 2.0-2 ROFIN SC Controller back panel	2-2
Figure 2.3-1 Shutter Operation	2-7
Figure 3.0-1 Main Menu	3-1
Figure 3.1-1 Mode and Operation Screen	3-2
Figure 3.4-1 Modulation Output for PP/PW mode	3-5
Figure 3.4-2 Modulation Output for PP/PW mode with Delay	3-5
Figure 3.5-1 ToneBurst (one shot) modulation output	3-6
Figure 3.5-2 ToneBurst (cycle) modulation	3-7
Figure 3.6-1 StepBurst (one shot) modulation output	3-8
Figure 3.6-2 StepBurst (cycle) modulation output	3-9
Figure 3.6-3 StepBurst (continuous) modulation output	3-9
Figure 3.7-1 Perforate Modulation	3-10
Figure 3.8-1 Scribe Modulation Output	3-11
Figure 3.8-2 Scribe mode (continuous output)	3-12
Figure 3.9-1 Engineering Mode	3-13
Figure 3.10-1 Engineering Mode-One Shot	3-13
Figure 3.11-1 Engineering Mode-Test	3-14
Figure 3.14-1 NC-PW (User range)	3-15
Figure 3.16-1 NC-PP (User range)	3-15
Figure 3.17-1 NC-Fixed off time	3-16
Figure 3.18-1 NC-Fixed on time	3-16

Figure 3.21-1 PP/PW Edit sequence	3-17
Figure 3.22-1 ToneBurst edit screen	3-18
Figure 3.23-1 StepBurst edit screens	3-19
Figure 3.24-1 Perforator Edit Screen	3-20
Figure 3.24-2 Perforator Edit Screen (Pulses=0)	3-20
Figure 3.25-1 Scribe Edit Screen	3-21
Figure 3.25-2 Scribe Edit (Lines=0)	3-21
Figure 3.26-1 Run Mode	3-22
Figure 3.27-1 Options Menu	3-23
Figure 3.28-1 Status Screens	3-24
Figure 3.29-1 Overview of System Screens	3-25
Figure 3.29-2 Overview of Edit Screens	3-26

Section 1

Introduction

Section 1 Introduction

1.0 General Introduction

The SC Control Unit has been developed specifically for use with the ROFIN SC range of CO₂ Lasers. It can be programmed to operate either as a stand alone controller or as a means of interpreting a variety of signals from external inputs such that an appropriate pulse width (PW) and pulse period (PP) can be generated on demand thereafter.

The unit is fully programmable by the user on-site and is based around a 16 bit microprocessor. A crystal clock based Pulse Width and Pulse Period control management system is also incorporated which ensures optimum performance of the laser across a wide variety of processing applications and operating conditions.

1.1 About This Manual

This manual describes the various functions of the SC Control module. For simplicity, the manual refers to Pulse Period as 'PP' and Pulse Width as 'PW'.

The manual also makes reference to certain modes of operation which are highlighted as being 'reserved for future applications'. These operation modes have hardware provision in the control unit to allow for additional features/upgrades to be offered in the future and cannot therefore be accessed at present.

The information and precautions given in the following sections are extensive but may not be complete. Laser users are advised to supplement this information with information regarding current technological advances as they become available.



All safety critical instructions contained within this documentation are framed with a border and printed in bold italic typeface. In addition, the safety warning symbol shown on the left indicates that care should be taken when working with or on the laser equipment.

Strict compliance with the safety precautions set out and referred to in this manual and extreme care in use are essential to minimise the chance of accidental damage to the equipment or personal injury. Rofin does not accept liability for any damage or injury howsoever caused or arising.



The symbol given on the left is also used on the equipment and indicates that the user should refer to the Equipment Operator's Manual for more information on the safe operation or installation of the equipment.

It is the policy of ROFIN to continuously upgrade the features offered by the SC Control Unit. These upgrades can at a later date be purchased (subject to hardware compatibility) and incorporated into client's systems either at the user's site or by return to Rofin.

A full list of new features and revisions will be provided in Appendix 1 as and when they become available.

1.2 Safety Instructions & Precautions / General Information



It is strongly recommended that any personnel who are involved with the installation, operation or maintenance of laser equipment should first read and fully understand the contents of this manual and the relevant laser operating manual with particular reference to the safety section.

If there are any questions or doubts on any of the safety aspects of the equipment, then do not hesitate to contact your nearest ROFIN sales or service office or distributor for advice before proceeding.

The installation, operation and maintenance of this equipment must only be carried out by ROFIN service personnel or trained staff who have received correct instruction concerning the hazards associated with this particular equipment.

Take extensive precautions to prevent exposure of laser energy to the eye and skin from reflected laser beams, either direct or diffused. In addition, precautions must be taken to prevent the hazards of fire, electrical injury and pollution.

1.3 Intended Use

The equipment described in this documentation is intended to be used in conjunction with the ROFIN range of laser equipment for processing materials in an industrial environment. The laser is a source of radiation and as such forms part of a laser processing system. The intended use of the laser is therefore determined by the type of laser system into which it is incorporated (e.g. cutting, welding, marking, surface working) as well as by the manufacturer's instructions.

This laser equipment is intended to be integrated into large scale industrial tools or equipment defined to consist of a combination of equipment, systems or products, each of which is manufactured and intended to be used only in fixed industrial applications.

Large scale industrial tools are currently based on the following criteria

- Consist of a combination of equipment, systems, products and/or components (therefore not a single discrete tool such as a small or medium scale lathe, milling machine or pillar drill)
- Be required to be fixed to operate safely or within specification.
- Be of large scale
- Require professional installation
- Only to be used in an industrial environment
- Be built to perform a specific task



The use of the laser equipment for applications other than the intended one constitutes misuse and the laser manufacturer, ROFIN, does not accept liability for any damage or injury, howsoever caused or arising. In addition, ROFIN does not accept liability for any damage or injury howsoever caused or arising where the laser equipment has been modified without the prior written permission of Rofin-Sinar UK Ltd. The term modification is deemed to include the use of unauthorised spare parts and accessories.

1.4 Equipment Safety Standards

The SC Controller is manufactured to the following Safety Standards:

- EN 60950 Low Voltage Directive
- EN5501 Group 1 Class A (Emissions Standard for industrial equipment)
- EN50082-1 (Generic immunity Standard for industrial environments)

1.5 Electrical Hazard

Any installation, service or repair work must be undertaken by qualified Rofin personnel or by skilled engineers after consultation with the relevant local Rofin Service Department. If in doubt, contact the Service Department at the phone number given at the beginning of this manual.

- 1 Do not remove the covers from the equipment. Removing these covers will expose voltages.
- 2 The area around the equipment should be kept dry.
- 3 Never operate the laser equipment if there is any sign of water leaking from the system. Call the local Service Department.
- 4 Do not operate the equipment if the mains cable is damaged.
- 5 The laser equipment should undergo routine inspection and maintenance according to Rofin recommendations, as detailed in the relevant operator's manual.

1.6 Mains Supply

The ROFIN SC Control unit is a mains powered device and requires the following power specification (note that the supply voltage must be specified at the time of ordering):

It is the responsibility of the user to check that the power specification of the control unit is in accordance with the local supply voltage prior to installation.

Voltage (switch selectable):	230 V AC \pm 10% (or 110 V AC \pm 10%)
Current:	<100mA
Frequency:	50/60Hz

1.7 Fuses

Mains Fuse	100mA (T) 5x20mm Anti-Surge 250V AC max	552-00-25-00 (Spare Supplied)
Internal Fuses	WICKMAN TE5 100mA. Anti-surge.	552-0003-00 x2

The mains power fuse holder is located on the rear of the unit. It contains the mains fuse and a spare fuse. To access the fuse holder, first disconnect the mains supply cable and pull out the fuse holder using the edge of a flat blade screw driver.

1.8 Key Features

The resolution of the pulse width and pulse period is 66ns up to and including 4ms of Pulse Period and 4 μ s at longer pulse periods. The maximum frequency is 100 kHz (10 μ S Pulse Period)

The available pulse width and duty ranges depend on the installed software version. The following combinations are available:

- 2 μ S pulse width, 50% duty
- 5 μ S pulse width, 50% duty
- 2 μ S pulse width, 85% duty

In addition there are 2 versions with additional features for use with a Tacho input. These provide the following combinations

- 5 μ S pulse width, 50% duty
- 2 μ S pulse width, 85% duty

The controller must only be used with a laser which can support the pulse width/duty combination.

Section 2

Description

Section 2 Description

2.0 Features of the ROFIN SC Industrial Controller

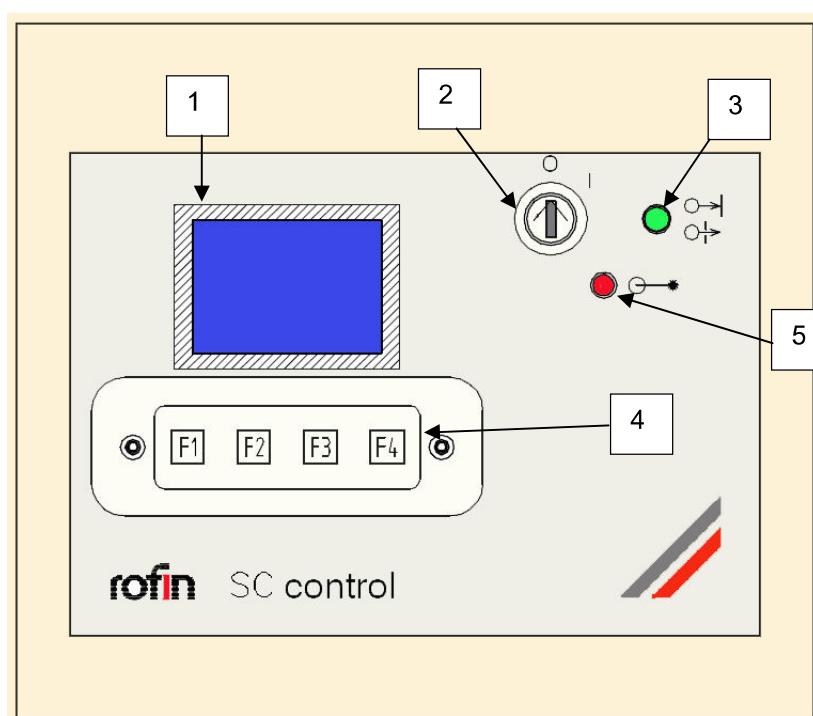


Figure 2.0-1 ROFIN SC Industrial Controller front panel

- 1 Main Display Screen.
- 2 Key switch to enable or disable the shutter mechanism (where applicable).
- 3 Momentary Push switch to enable shutter mechanism once key switch has been moved to the on position.
- 4 Main navigation and adjustment keypad.
- 5 Emission indicator lamp.

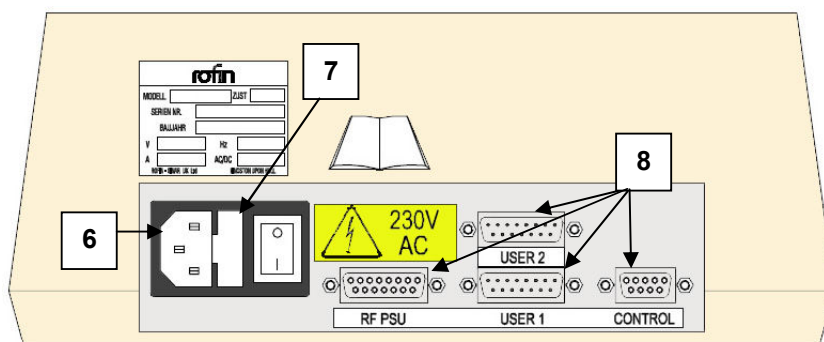


Figure 2.0-2 ROFIN SC Controller back panel

6 Mains Power connection. See 1.6.

7 Main Protection fuse (Also contains 1 spare). See section 1.7.

8 Interface connections. See Interface Connections. See section 2.1

2.1 Interface connections

The ROFIN SC Industrial Controller has four interface ports on the rear panel. These interface ports allow the user to interrogate and operate the connected laser system. Connection details for these interface ports are shown below.

I. RF PSU Port

Pin	Function	Description
1	VSWR Protection input (+)	RS422 Input
2	VSWR Protection Input (-)	RS422 Input
3	Over Modulation Input	5V= Over Modulation Protection
4	Modulation Output (-)	RF Amplifier Drive Output RS422
5	Modulation Output (+)	RF Amplifier Drive Output RS422
6	RF Power Supply enable output	5V to Enable the RF Power Supply
7	Forward Power Feedback	0-10v Signal proportional to the RF Power output. Signal levels will vary depending on the type of laser. (SC x10 / SC x20 / SC x30)
8	Reflected Power Feedback	0-10v Signal proportional to the RF Reflected Power. Signal levels will vary depending on the type of laser. (SC x10 / SC x20 / SC x30)
9-15	Ground	

II. User Port 1

This is a 15 way male 'D' Type. It is used for:

- Pre-programmed parameter selection / activation
- Analogue Voltage control (0 – 10 V DC) of the SC Controller (NC Mode)
- Trigger Laser
- Open/Close Shutter (Automode)
- External Emission Indication
- Internal Error Indication
- RS232 interface

Pin	Function	Description
1	Program select Pin Bit 3	Remote Program Selector Bit 3. (Opto Isolated) 0V='0', 5V-24V='1'
2	User Shutter Enable	Input (Opto Isolated) 0V=Shutter Disable 5-24V=Shutter Enable
3	Program select Pin Bit 0	Remote Program Selector Bit 0. (Opto Isolated) 0V='0', 5V-24V='1'
4	5V DC	100mA fused, Output. Intended use is for enabling of the shutter and/or enabling the laser.
5	Analogue Control Input (0 – 10V DC) (Section 3.14- 3.16)	Determines the duty cycle of the Laser operation in NC The input impedance of 2000 Ω is constant in 0-10V range. However, if the voltage range is exceeded; any voltages above 10V experience 1000 Ω of input impedance. The analogue 0-10V dc input is internally protected.
6	GND	Ground (or earth) connection
7	RS232 Transmit	Serial Data Output
8	Trigger Input	0V = no laser output 5-24V = laser output
9	Tacho Input	(Opto Isolated) 0V='0', 5V-24V='1'
10	Shutter status	Open collector o/p. 10mA max current sink. 5-24V operation. Shutter closed active.
11	Program select Pin Bit 1	Remote Program Selector Bit 1. (Opto Isolated) 0V='0', 5V-24V='1'
12	User External Emission indicator	Open collector o/p. 10mA max current sink. 5-24V operation. Active when RF enabled.
13	Program select Pin Bit 2	Remote Program Selector Bit 2. (Opto Isolated) 0V='0', 5V-24V='1'
14	GND	Ground (or earth) connection
15	RS232 Receive	Serial Data Input

III. Control Port

This is a 9 way female 'D' Type. It is connected to Control input of the SC Laser Systems. Pin functions are listed below;

Pin	Function
1	Shutter Enable output
2	Shutter open sensor input
3	Shutter close sensor input
4	PSU healthy
5	PSU healthy Return
6	External Emission indicator input
7	Ground
8	Ground
9	Emission Lamp Healthy input

IV. User Interface 2 (U2)

This is a 15 way male 'D' Type. It is used for:

Key lock

- Prevents the operator from changing parameters in Edit Screen.
- Prevents the operator from changing parameters or firing the laser in the Engineering modes (Factory Test and Single-Shot)
- Display shows # in top right corner of locked screens to indicate lock is active

Automode Enable
(See section 2.2)

- Switches the unit between Standby and Run when Automode is enabled.
- A transition on this input will take the unit from any screen to Standby (falling edge) or to Run (rising edge).
- The Automode option is preset before the unit is shipped, and must be specified at time of order.

Pin	Function	Description
3	Key Lock	0V=Unlock 5V-24V=Lock for editing
11	Automode Enable (must be pre-configured when the unit is shipped)	0V=Standby 5-24V=Run

2.2 Automode

The SC Controller (SCC) can be configured to bypass the shutter enable momentary push switch. This allows operation in a fully automated environment. This mode is referred to as 'AutoMode'.

To enable 'Automode' operation, jumper J7 must be fitted to the main PCB. When 'AutoMode' is enabled the main screen will display 'AutoMode Enabled'. The shutter key switch must be in the operating position in order to open the shutter automatically.

The SCC is switched between Standby and Run using 'Auto Enable' U2.11.
The shutter is controlled using 'User Shutter Enable' U1.2.
The laser is triggered using 'Trigger' U1.8.
The duty cycle can be controlled using 'NC' U1.5

Automode Behaviour			
Condition	On Power Up	From Execute	On Clearing Condition
Auto Enable not made	Goes to Standby. Shutter is closed. RF disabled. 'Shutter Closed'	Goes to Standby. Shutter closes. RF disabled. Modulation stopped. 'Shutter Closed'	Goes to Execute. Shutter opens
Key switch not made	Goes to Execute. RF disabled. Shutter is closed. 'Shutter Closed'	Shutter closes. RF disabled. Modulation stopped. 'Shutter Closed'	Shutter Opens.
Interlocks not made	Goes to Standby. RF disabled. Shutter is closed. 'PSU fault'	Goes to Standby. Shutter closes. RF disabled. Modulation stopped. 'PSU Fault'	Stays in Standby Screen. Requires Auto Enable toggle to go to Execute and open shutter
User Shutter Enable not made	Goes to Execute RF disabled. Shutter is closed. 'Shutter Closed'	Shutter closes. RF disabled. Modulation stopped. 'Shutter Closed'	Shutter Opens

2.3 Shutter Operation

The ROFIN SC Controller has two controls for the operation of the shutter mechanism. The first is a key operated switch, this must be turned clockwise towards the 'I' position indicated in the diagram below. Once the key switch has been operated, the push switch must be pressed to enable the shutter. Once the shutter has been enabled, a small light in the green push button will be illuminated. To disable the shutter, the key switch must be returned to the 'O' position.

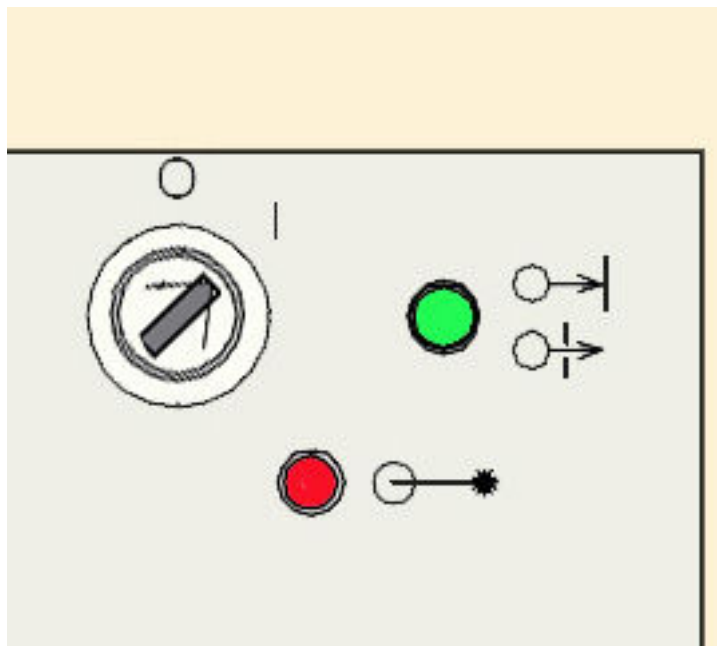


Figure 2.3-1 Shutter Operation

2.4 Shutter Operation in Automode.

When the SC Controller is shipped with Automode Software, the momentary push switch is electronically bypassed. Once the key switch has been turned to the 'I' position, the user can control the shutter using pin 2 on user interface port 1.

Pin 2 Condition	Shutter status
0V	Shutter Closed
5-24V	Shutter Open

2.5 Emission Lamp

This warning lamp indicates the laser system is capable of emitting CO₂ energy.

Section 3

Version 8 Software

Section 3 Version 8 Software

3.0 Main Menu

The first screen displayed on power-up is the main menu, Figure 3.0-1 Main Menu

F1 gives access to the mode selection functions where the mode and operation options can be selected.

F3 allows the parameters for the current mode to be edited.

F4 selects the run mode for the unit which leads the user through the initiation sequence.

The mode and parameters selected via the settings screens are used to determine the modulation output of the unit in run mode.

When the unit is switched on it will recall the mode and operation settings from the last time it was used.

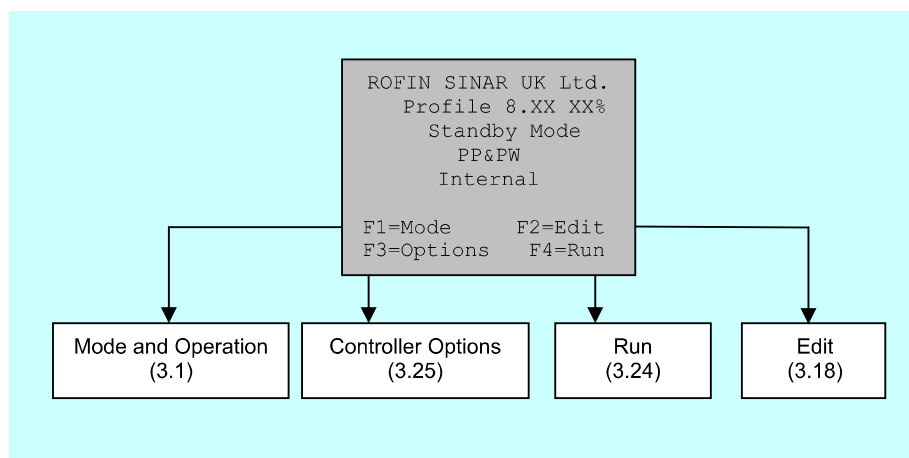


Figure 3.0-1 Main Menu

3.1 Mode and Operation Options

Figure 3.1-1 shows the Mode and Operation selection screen. The various modes and operation options can be selected using F1 (Mode) and F2 (Operation). Section 3.2 describes the mode options. Section 3.12 describes the operation options.

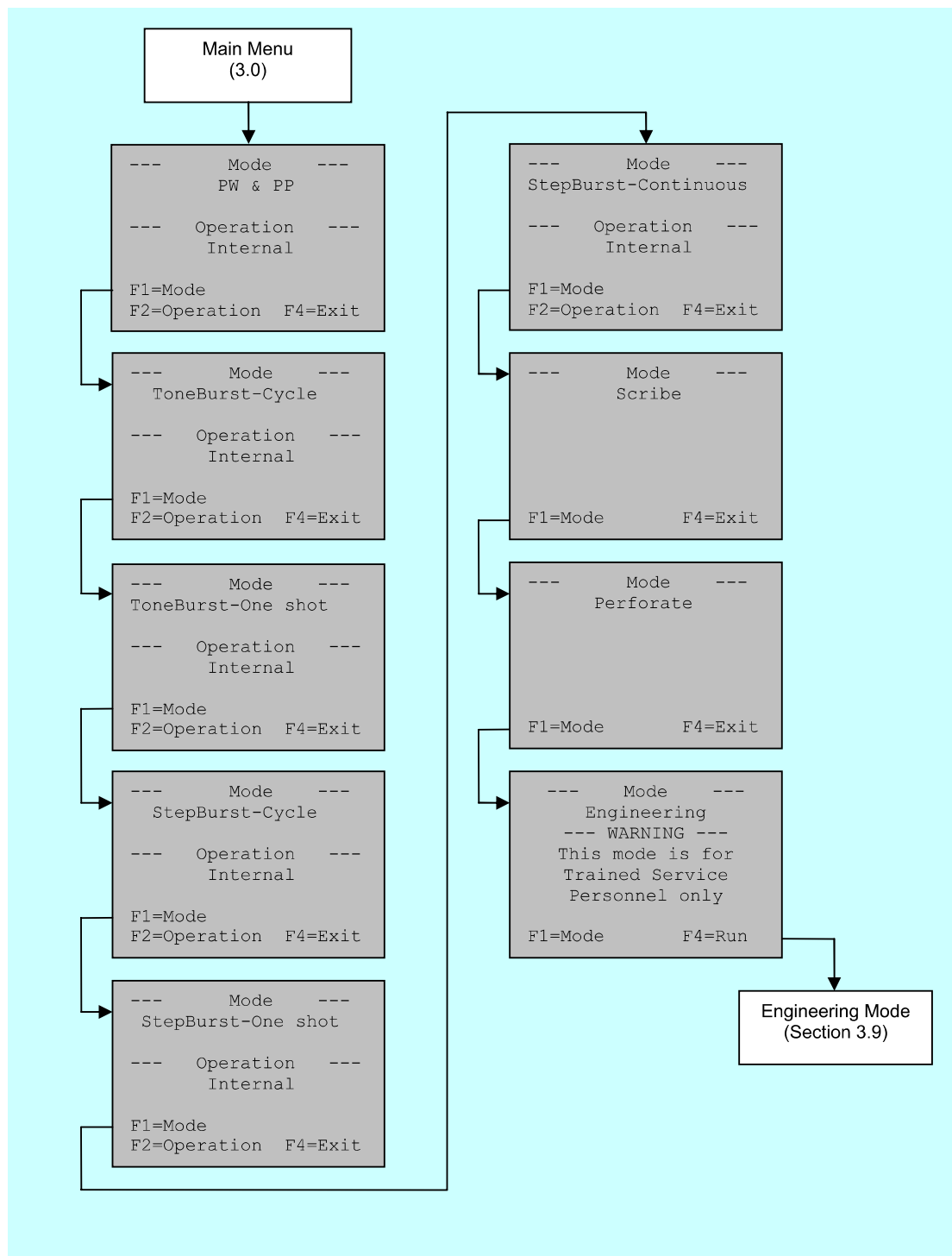


Figure 3.1-1 Mode and Operation Screen

3.2 Mode Options

The following modes can be selected:

PP & PW	User selects a pulse period and pulse width, see section 3.3
ToneBurst (Cycle)	User selects a pulse period, pulse width, on-time and off-time which is repeated cyclically for the duration of the trigger signal, see section 3.5
ToneBurst (One Shot)	User selects a pulse period, pulse width and on-time which is executed once per trigger signal, see section 3.5
StepBurst (Cycle)	User selects 3 pulse period / pulse width / duration combinations which are executed sequentially. The cycle is repeated for the duration of the trigger signal. See section 3.6
StepBurst (One Shot)	User selects 3 pulse period / pulse width / duration combinations which are executed sequentially. The sequence is executed once per trigger signal. See section 3.6
StepBurst (Continuous)	User selects 3 pulse period / pulse width / duration combinations which are executed sequentially. The third PP/PW combination continues for the duration of the trigger signal. See section 3.6
Perforate	A number of shots of pre-defined PulseWidth are executed at intervals determined by a Tacho input. See section 3.7
Scribe	A number of groups of shots of pre-defined PulseWidth are executed at intervals determined by a Tacho input. See section 3.8
Engineering	Engineering mode is for trained service personnel only. See section 3.9

3.3 Program Select

For each of the following modes of operation, the user can define a total of 16 programs, to mach their own requirements. The required program can then be selected using a combination of the digital inputs on User Port 1, see section 2.1. If the inputs are left unconnected, the controller will select the default program 0.

B0 (Pin U1.3)	B1 (Pin U1.11)	B2 (Pin U1.13)	B3 (Pin U1.1)	Program number
0	0	0	0	0 (default)
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

0 = low signal (0 VDC)

1= High signal (5-24 VDC)

3.4 PP & PW

Figure 3.1-1 shows the modulation output generated in PP/PW mode. The output signal is present for the duration of the trigger signal.

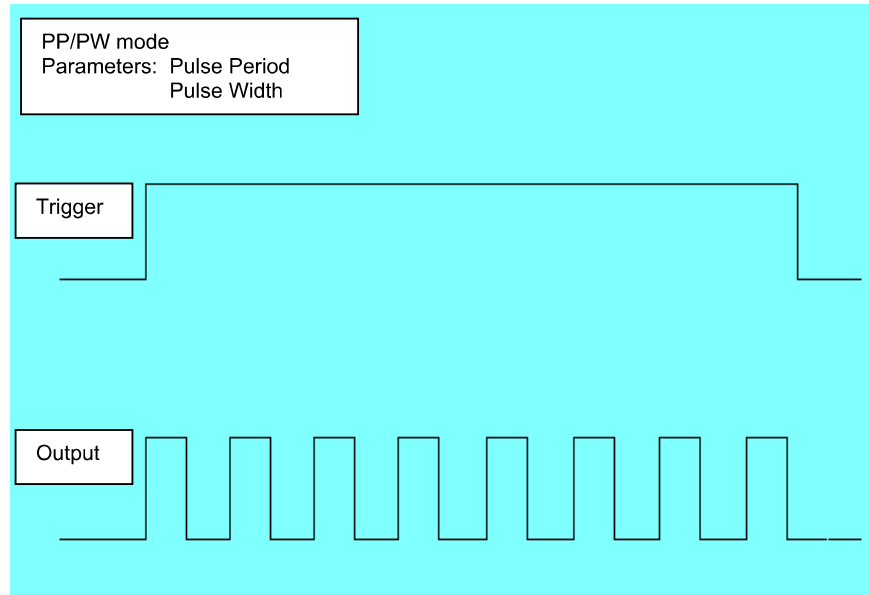


Figure 3.4-1 Modulation Output for PP/PW mode

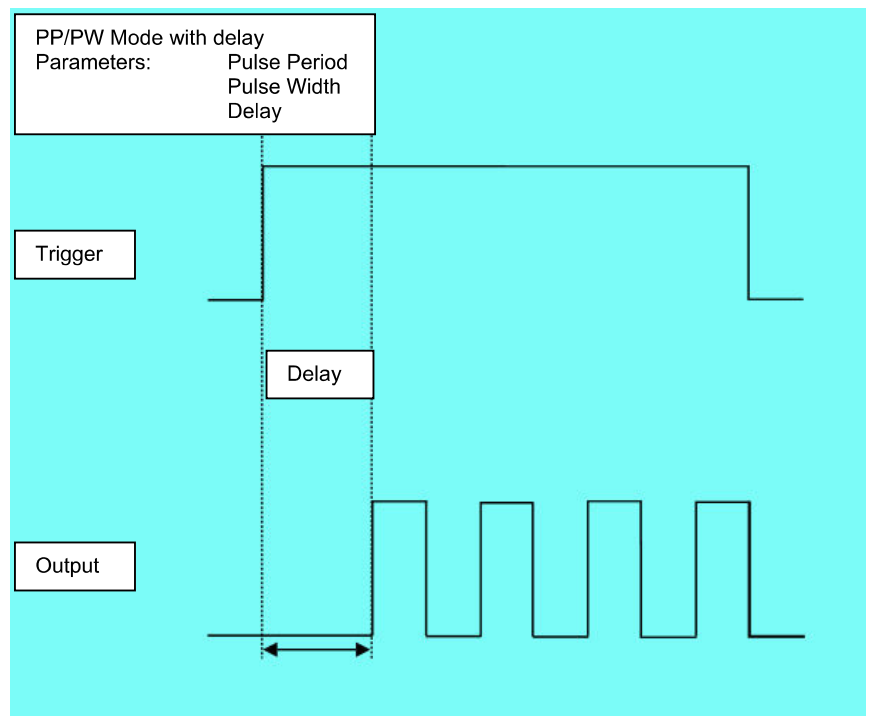


Figure 3.4-2 Modulation Output for PP/PW mode with Delay

3.5 ToneBurst

The ToneBurst modes, 'one-shot' and 'cycle', are shown in Figure 3.5-1 and Figure 3.5-2. The parameters for the ToneBurst programs are independent of those used in other programs i.e. PP/PW, StepBurst etc.

One-shot mode generates a single sequence defined by the pulse width, pulse period and on-time from the ToneBurst program. The trigger signal can be of shorter duration than the modulated output signal, as shown in Figure 3.5-1.

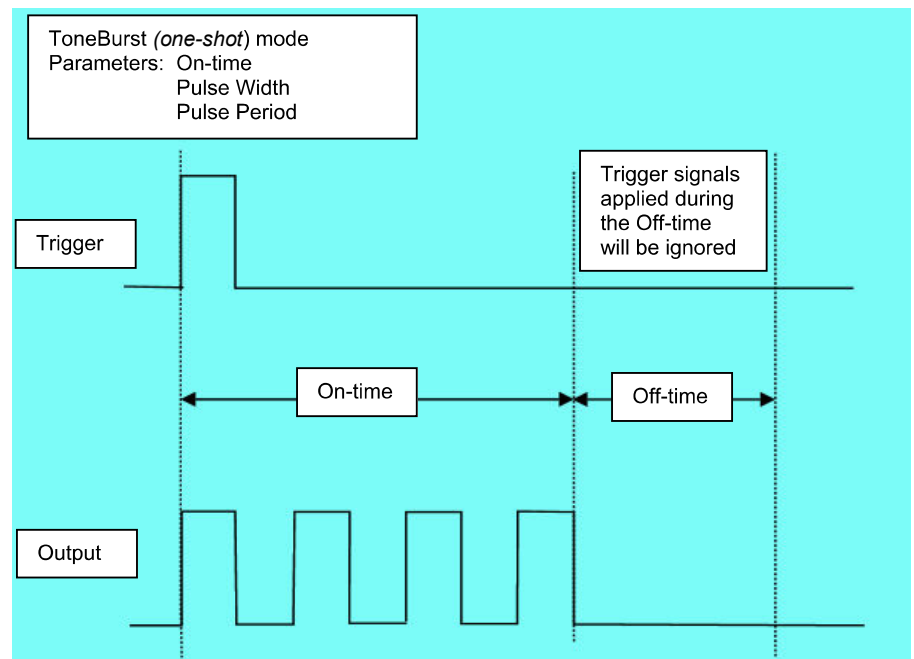


Figure 3.5-1 ToneBurst (one shot) modulation output

Cycle mode generates a number of tone bursts, for the duration of the trigger signal. The sequence is defined by the pulse width, pulse period On-time and Off-time from the ToneBurst program.

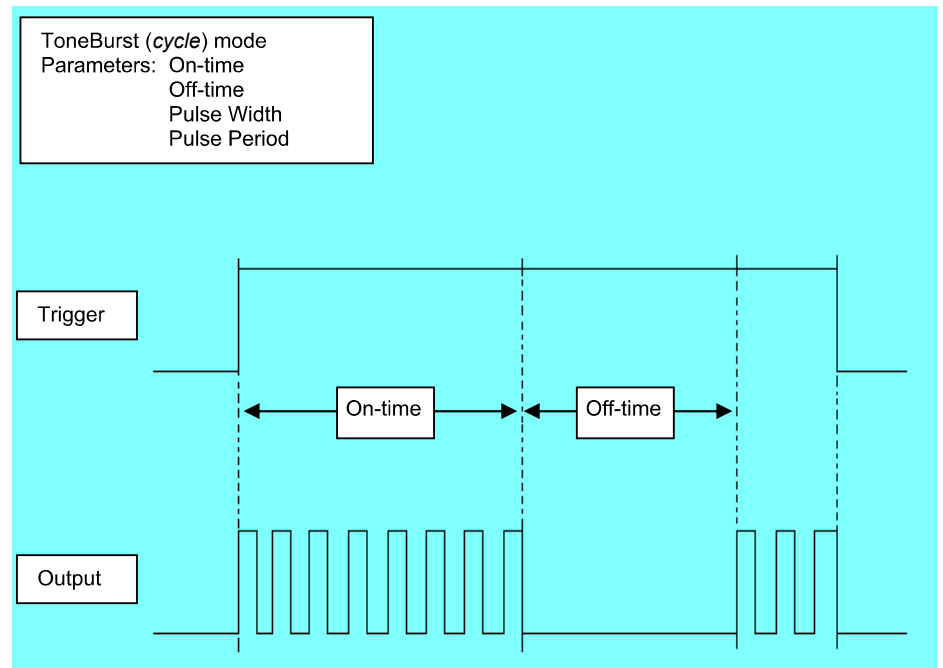


Figure 3.5-2 ToneBurst (cycle) modulation

3.6 StepBurst

StepBurst mode allows the user to define 3 time periods with different modulation characteristics for each period.

Figure 3.6-1 shows the modulation output generated in step burst (*one-shot*) mode. In this mode a single sequence of T1, T2 and T3 is triggered by a short trigger pulse.

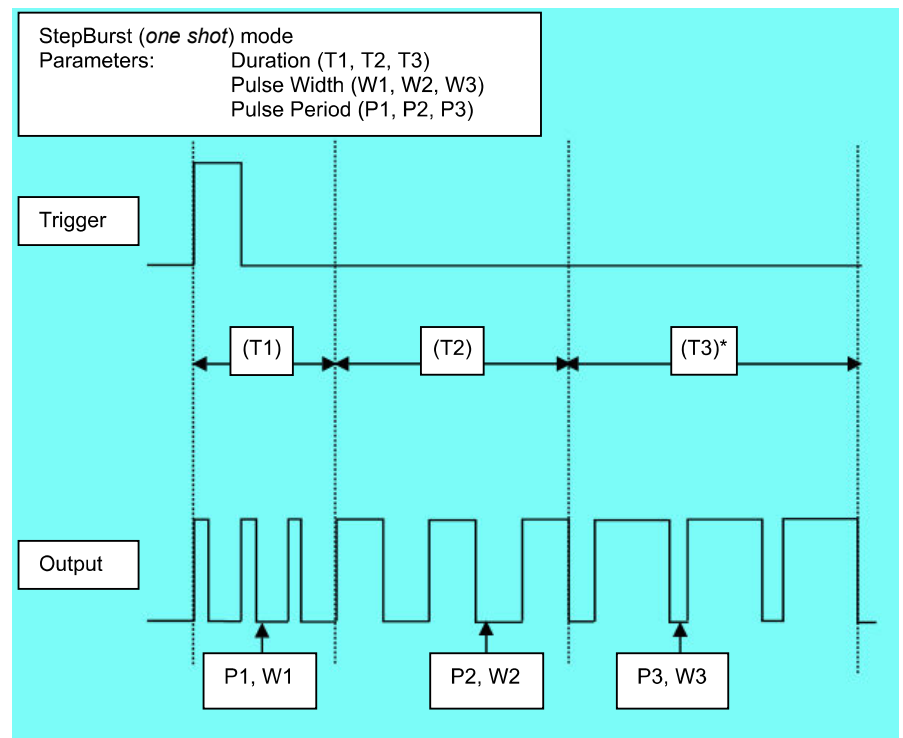


Figure 3.6-1 StepBurst (one shot) modulation output

* - Note that T3 is shown with a duty cycle exceeding 50% for clarity. This is only achievable with certain hardware selections.

Figure 3.6-2 shows step burst (*cycle*) mode. In this mode a single sequence of T1, T2 and T3 are repeated for the duration of the trigger signal.

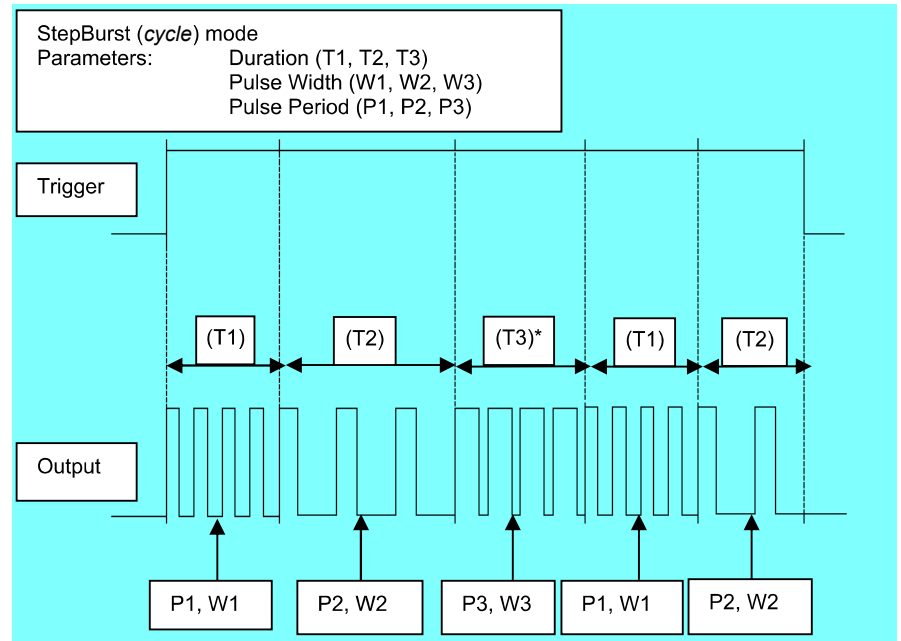


Figure 3.6-2 StepBurst (*cycle*) modulation output

Figure 3.6-3 shows step burst (*continuous*) mode. In this mode a sequence of T1, T2 and T3 is generated. At the end of T3 the modulation continues using the pulse width and pulse period parameters of T3 for the duration of the trigger pulse.

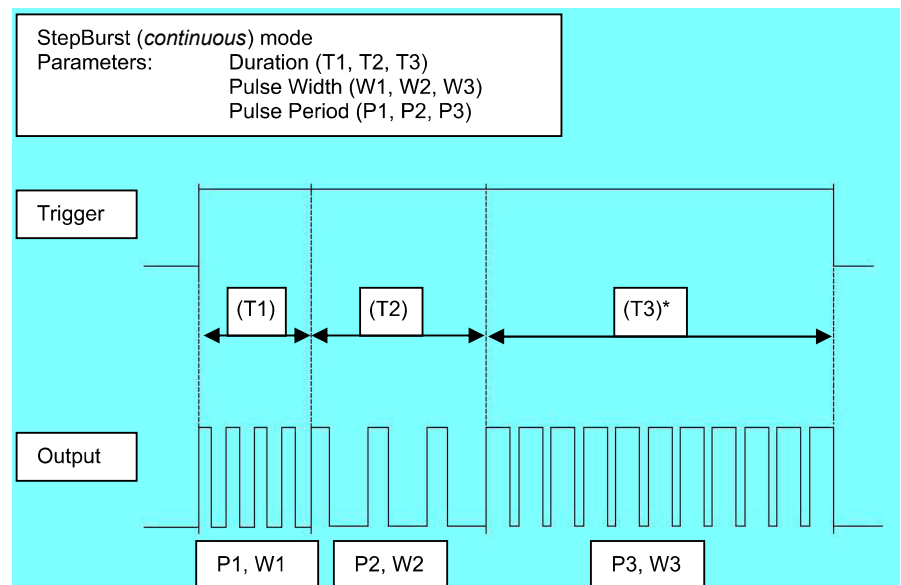


Figure 3.6-3 StepBurst (*continuous*) modulation output

* - Note that T3 is shown with a duty cycle exceeding 50% for clarity. This may not be realisable depending on the hardware selection.

3.7 Perforator

Figure 3.7-1 shows the output generated in perforate mode. The pulse width is defined in microseconds, but the pulse separation is defined by the Tacho input. This allows a number of pulses of pre-defined energy to be spaced apart by a known distance independent of product movement.

If the number of lines is set to 0 then the system will generate continuous output for the duration of the trigger signal, Figure 3.7-2.

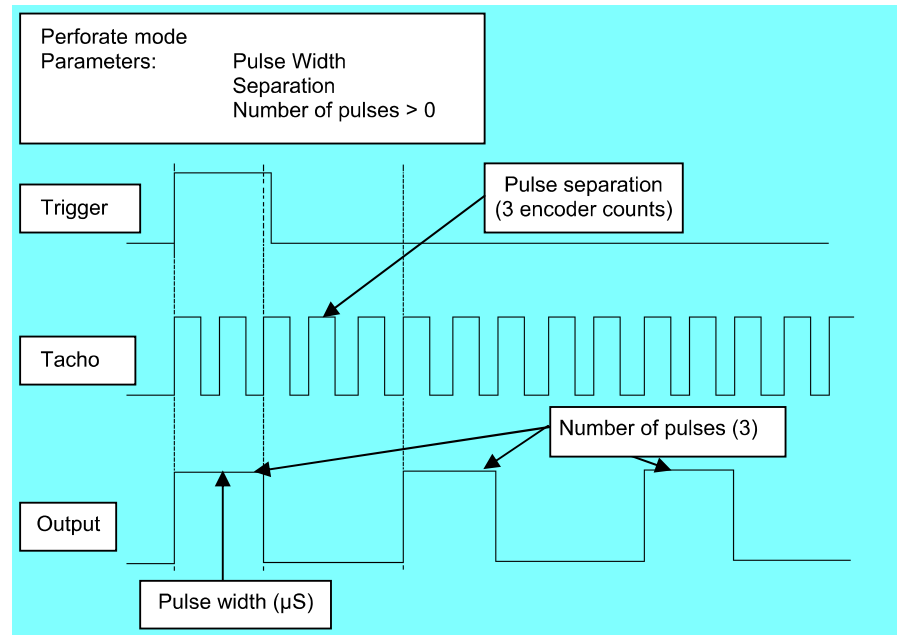


Figure 3.7-1 Perforate Modulation

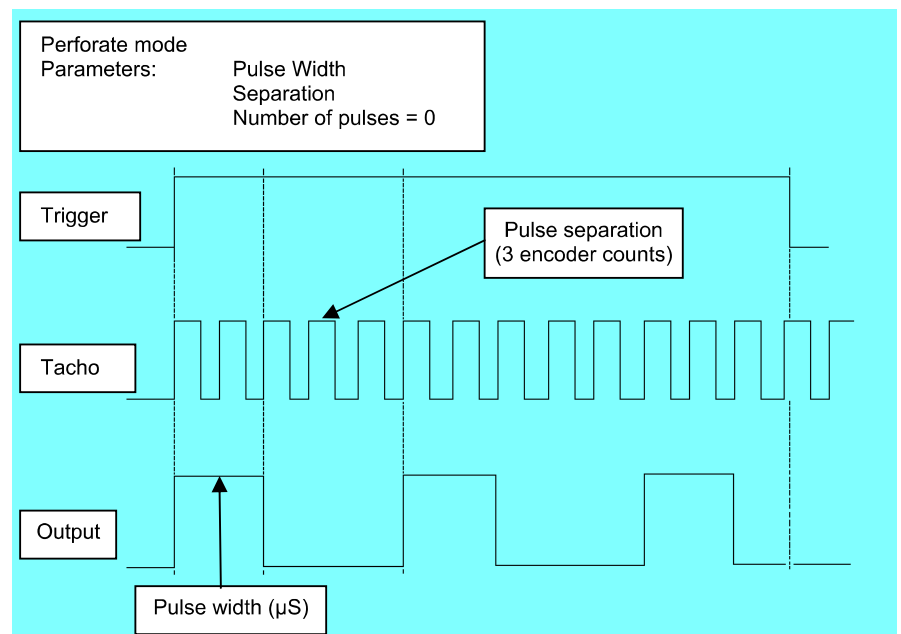


Figure 3.7-2 Perforate Mode (continuous output)

3.8 Scribe

Figure 3.8-1 shows the output generated in scribe mode. The pulse width is defined in microseconds, but the pulse separation, line separation and line length are defined by the Tacho input. This allows a number of pulses of pre-defined energy to be spaced apart by a known distance independent of product movement.

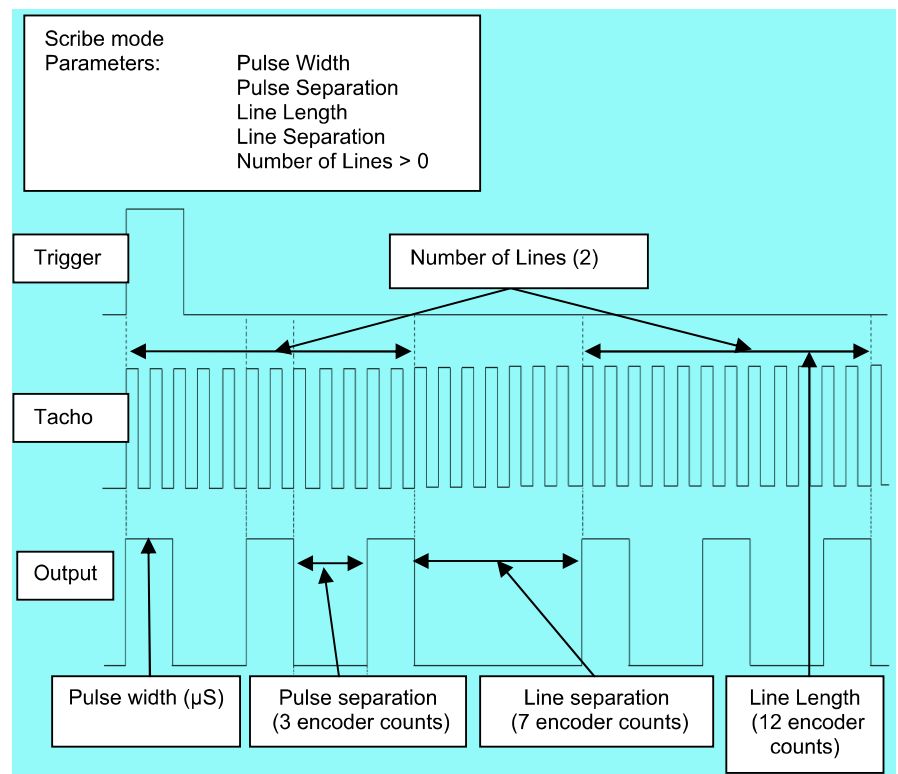


Figure 3.8-1 Scribe Modulation Output

If the number of lines is set to 0 then the system will generate continuous output for the duration of the product detect signal, Figure 3.8-2.

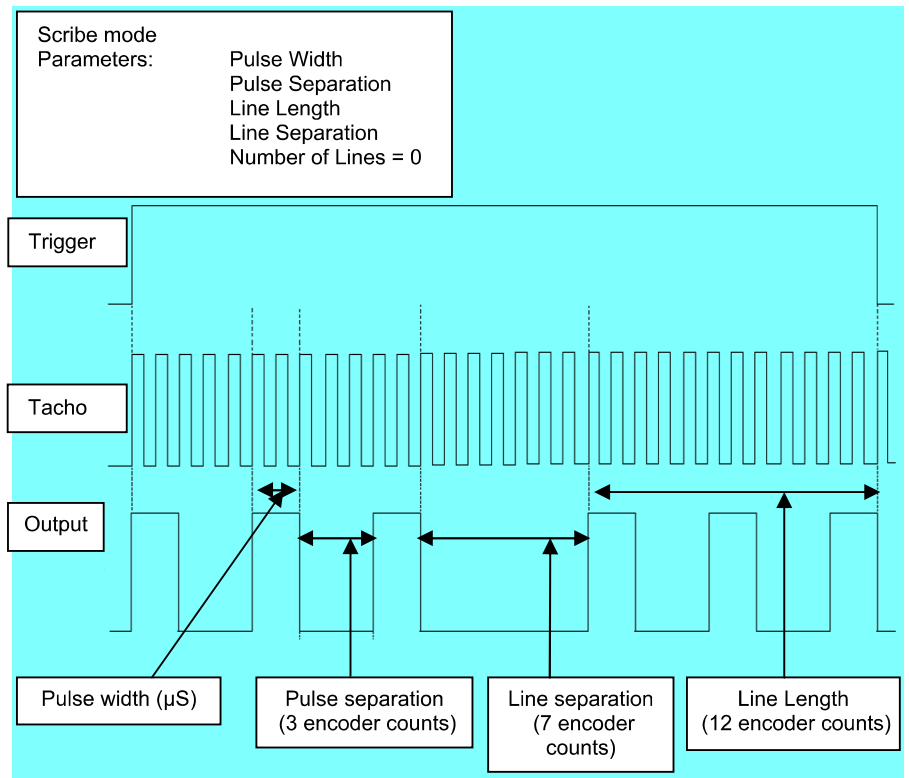


Figure 3.8-2 Scribe mode (continuous output)



3.9 Engineering Mode

This mode is for use by trained service personnel only

Engineering mode provides two modes for testing the laser: one shot and factory test.

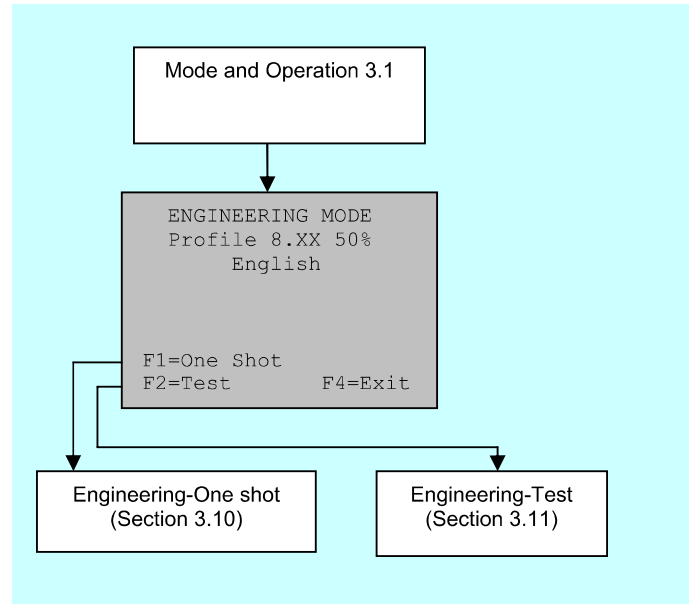


Figure 3.9-1 Engineering Mode



3.10 Engineering-One shot

This mode is for use by trained service personnel only

Figure 3.10-1 shows the options available in engineering mode.

One shot allows the user to fire a single laser pulse of 2-400µs. A pulse can be triggered using the Fire button (F3) or the trigger signal on User Port 1 pin 8.

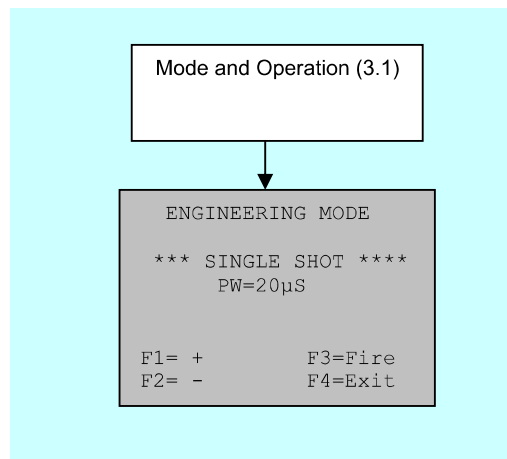


Figure 3.10-1 Engineering Mode-One Shot

This feature is particularly useful during alignment of the beam delivery system.

3.11 Engineering-Test

This mode is for use by trained service personnel only

Figure 3.11-1 shows factory test mode. Factory Test mode allows a number of pre-defined pulse width and duty combinations to be selected for testing the laser. Modulation is controlled by the trigger input on User Port 1 pin 8 or by pressing the F3 key. The pulse widths available are:- 5, 6, 10, 20, 50, 100, 200, 400 μ S pulses The duty cycle options are:- 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 85%.

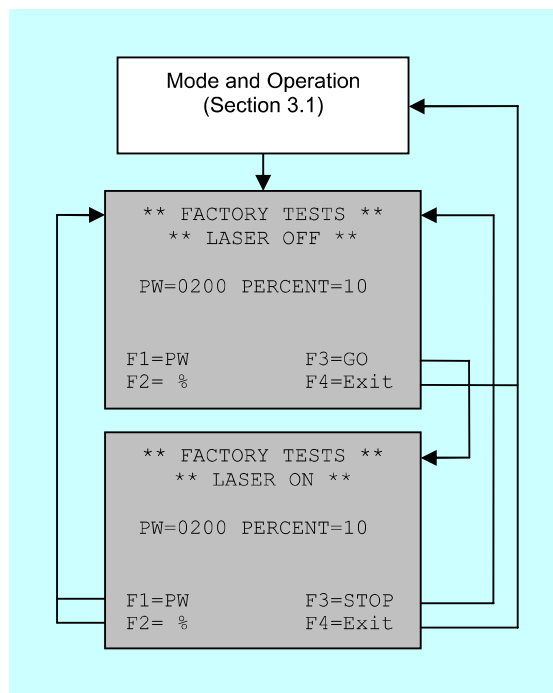


Figure 3.11-1 Engineering Mode-Test

3.12 Operation Options

The operation options define the type of numeric control (NC) used in timed modes of operation; PP/PW, ToneBurst and StepBurst. They do not apply to scribe and perforate modes which are Tacho-driven modes.

3.13 NC-PW (Fixed PP)

The external 0-10V input controls the pulse width. The pulse width varies from PW_{min} to PW_{user} entered by the user in the program. The pulse period remains constant (Figure 3.13-1). This allows the user to limit the maximum duty.

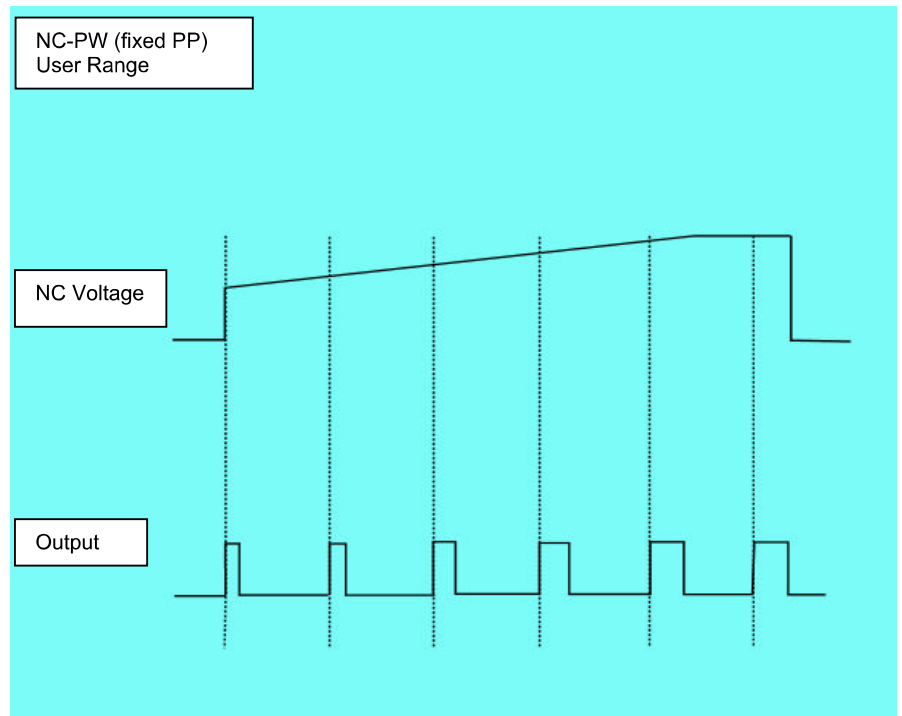


Figure 3.13-1 NC-PW (User range)

3.14 NC-PP (Fixed PW)

The external 0-10V input controls the pulse period. Below 1 volt the modulation output is turned off. Above 1 volt the pulse period varies from low duty down to the pulse period value entered by the user in the program. The pulse width remains constant (Figure 3.14-1)

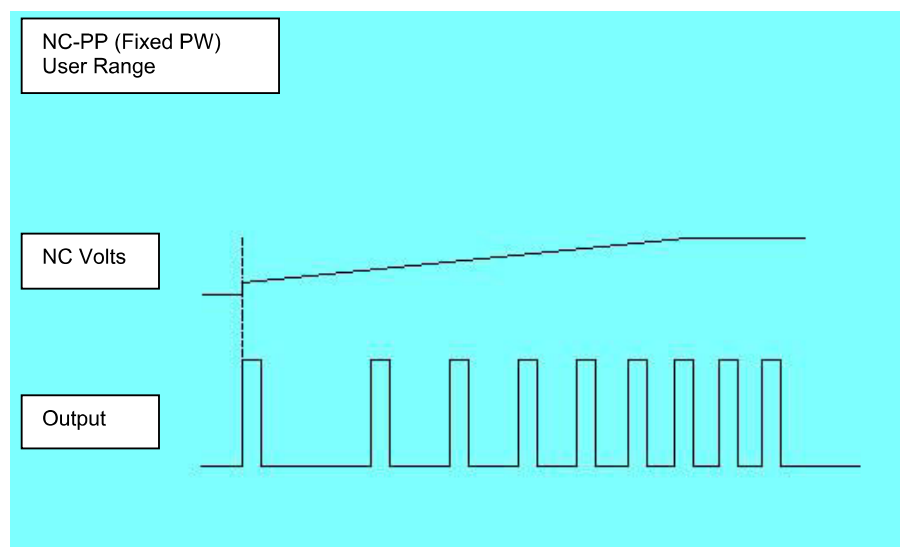


Figure 3.14-1 NC-PP (User range)

3.15 NC – Fixed Off-Time

The external 0-10V input controls the on-time. Below 1 volt the modulation output is turned off. Above 1 volt the on-time varies between 0 – On-time entered by user in ToneBurst program. This is only available in ToneBurst (cycle) and ToneBurst (one shot) modes. Figure 3.15-1 shows the modulation envelope for the on-time increasing as the NC voltage increases.

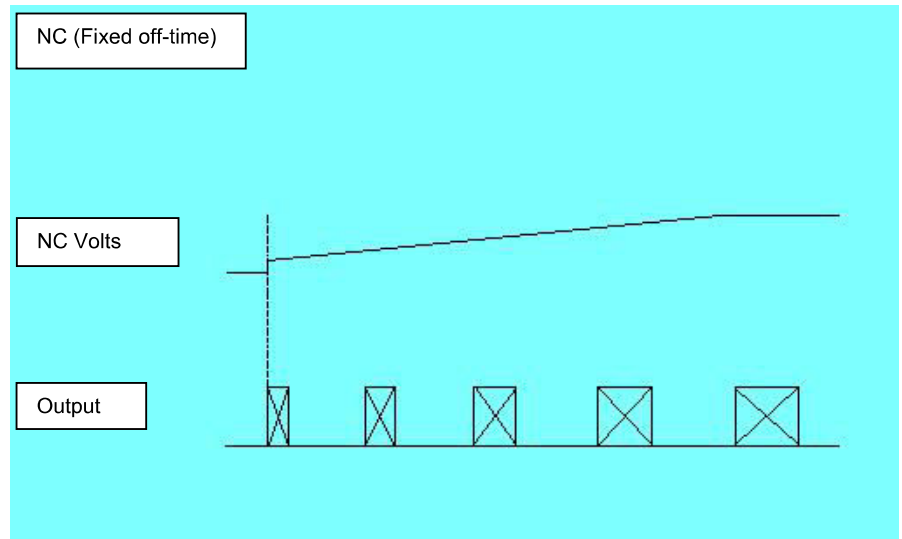


Figure 3.15-1 NC-Fixed off time

3.16 NC – Fixed On-Time

The external 0-10V input controls the off-time. Below 1 volt the modulation output is turned off. Above 1 volt the off-time varies between 0 – Off-time entered by user in ToneBurst program. This is only available in ToneBurst (cycle) mode.

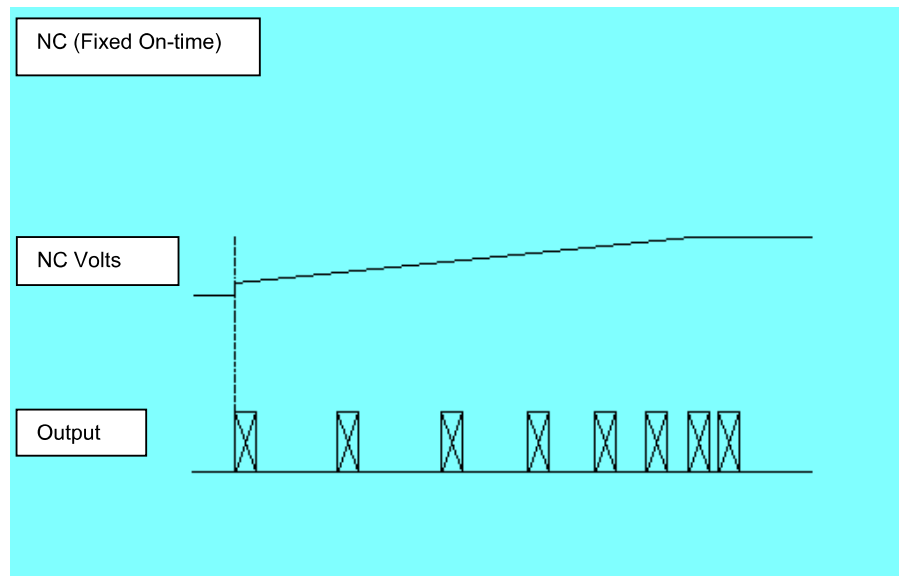


Figure 3.16-1 NC-Fixed on time

3.17 Internal

The pulse width and pulse period are controlled internally, NC input is not used.

3.18 Edit

When Edit is selected, the appropriate screen for the current mode of operation is displayed. The following sections describe each mode of operation and the edit screens associated with these modes.

3.19 Edit PP & PW

Figure 3.19-1 shows the edit sequence for PP/PW mode. The program number selected for editing is initially determined by the current digital input. The user can select other sets of parameters by changing the program selection in the edit screen using F1 and F2. The next parameter in the sequence is selected using F3. After the last parameter in the sequence (delay ms) the selection returns to the first item (program).

The user can select which parameters can be edited, see section 3.25.

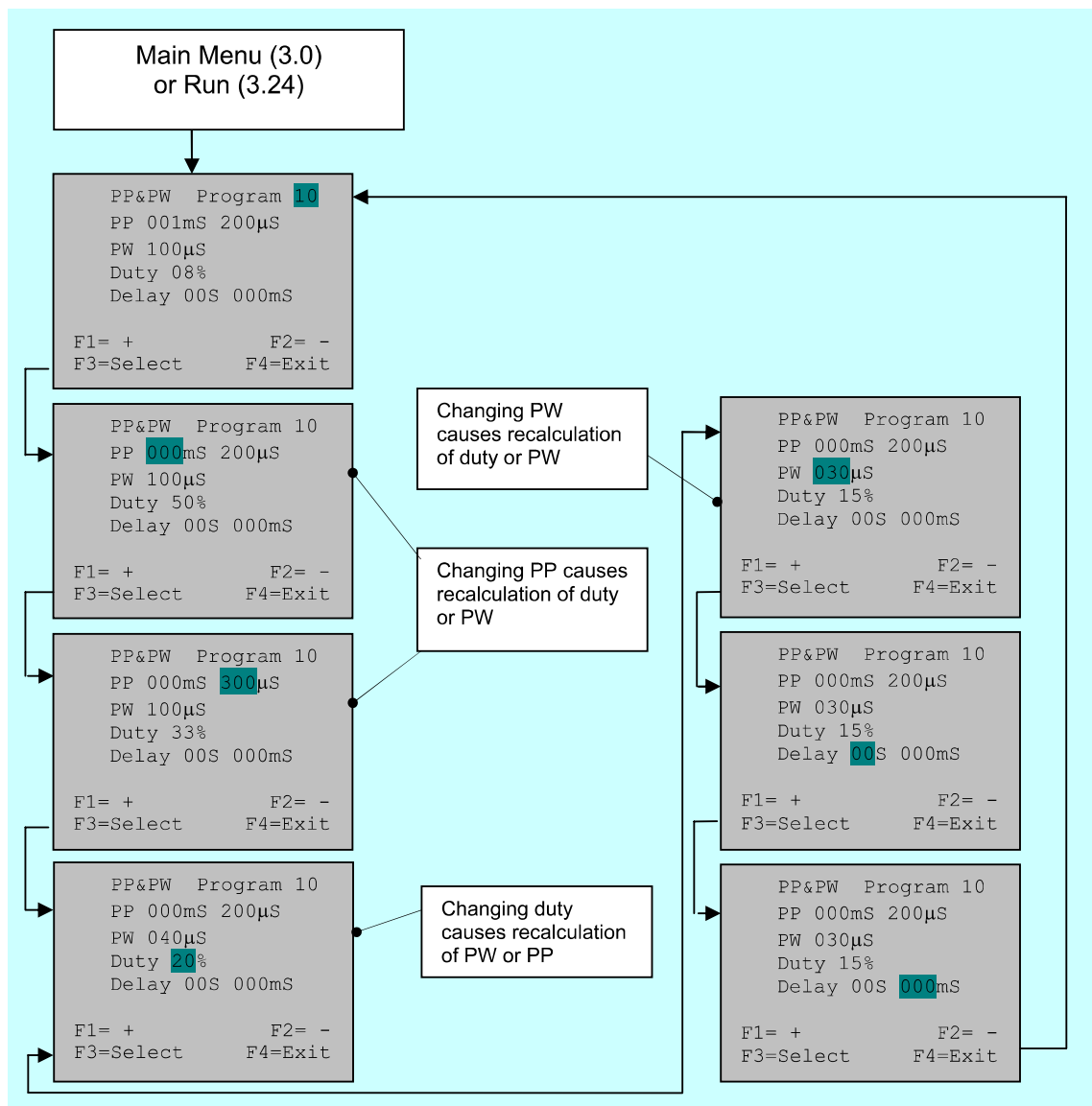


Figure 3.19-1 PP/PW Edit sequence

3.20 Edit ToneBurst

Figure 3.20-1 shows the edit screens for ToneBurst mode. The first screen shows the program selection, on-time, off-time and detector delay settings. The next screen shows the pulse period, pulse width and duty settings for the program.

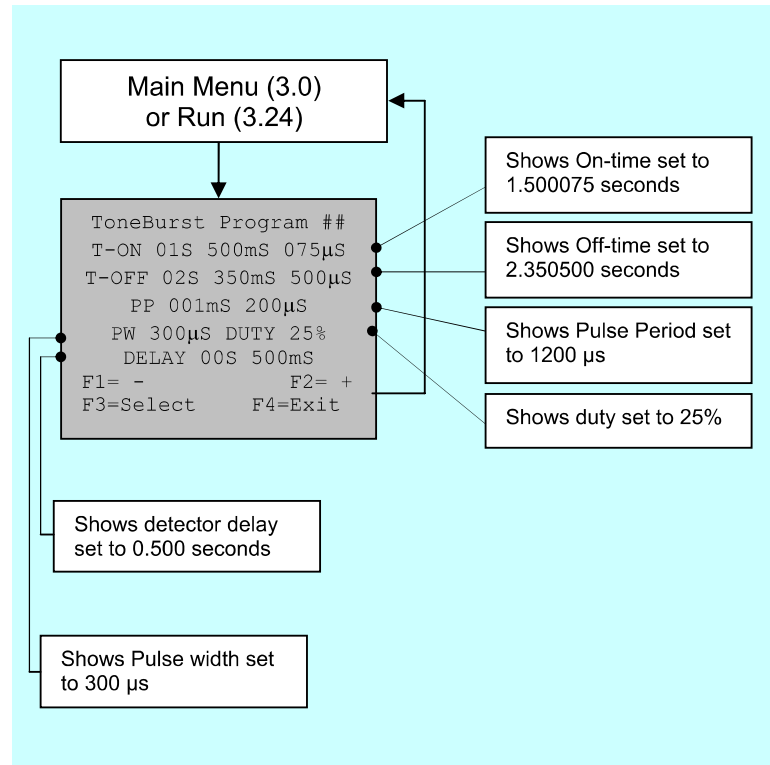


Figure 3.20-1 ToneBurst edit screen

3.21 Edit StepBurst

Figure 3.21-1 shows the edit screens for step burst mode. The duration, pulse width, pulse period and duty for each period are entered on these screens. After selecting the appropriate program the next item allows the user to select the period T(1), T(2) or T(3). When T(1) is selected the user may enter the detector delay in addition to the parameters for T(1).

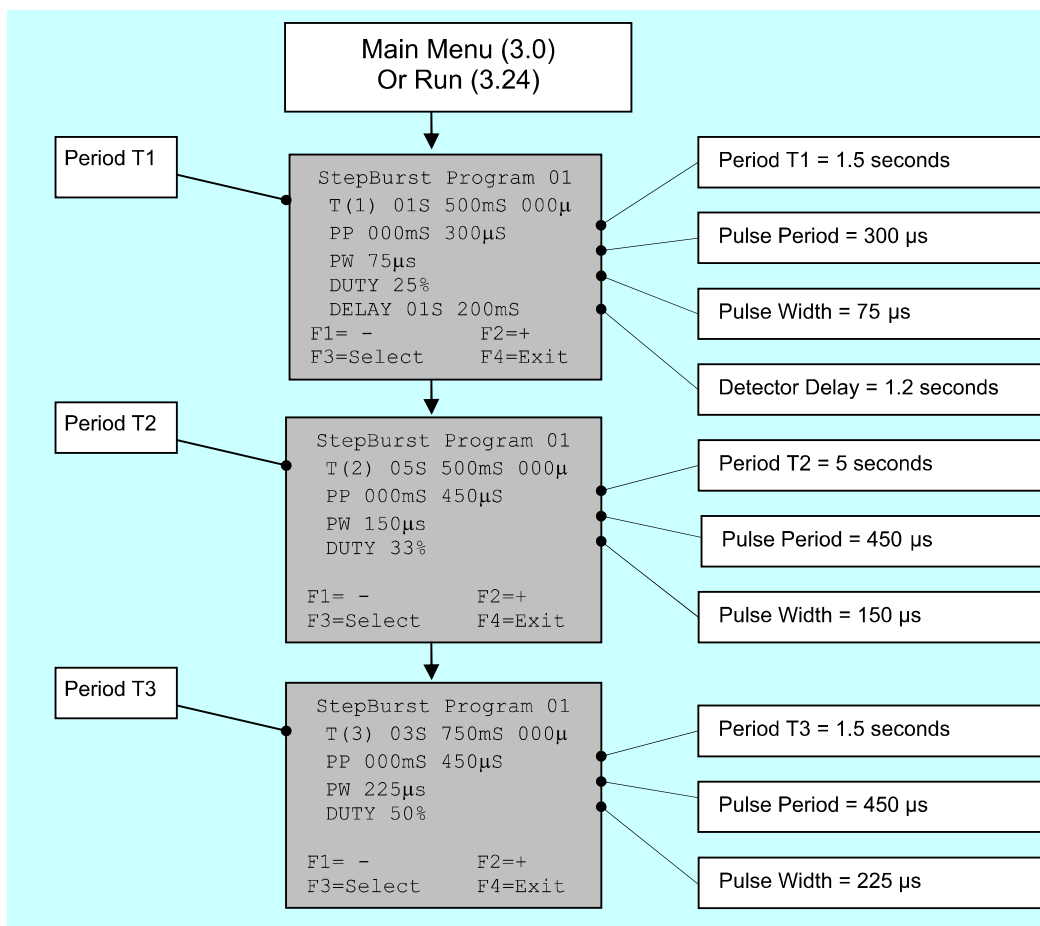


Figure 3.21-1 StepBurst edit screens

3.22 Edit Perforator

Figure 3.22-1 shows the perforate edit screen. Note that the pulse width is defined in microseconds, while separation and detect delay are defined in encoder counts.

If the number of pulses is set to zero the display will show '-----' to indicate continuous output (Figure 3.22-2).

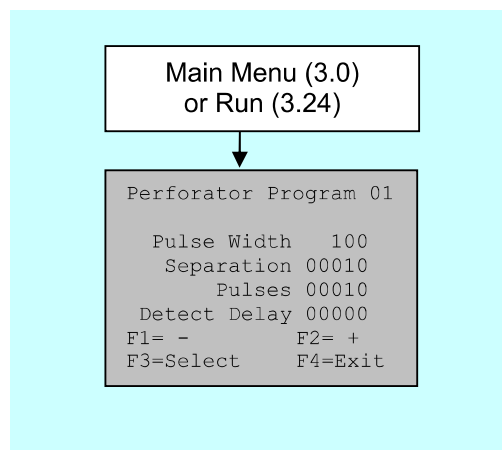


Figure 3.22-1 Perforator Edit Screen

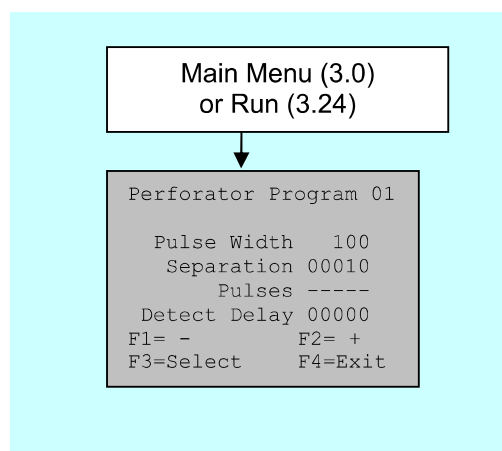


Figure 3.22-2 Perforator Edit Screen (Pulses=0)

3.23 Edit Scribe

Figure 3.23-1 shows the edit screens for Scribe mode. Pulse width is entered in microseconds. Pulse separation, detect delay, line length and line separation are entered in encoder counts. Number of lines is an absolute value. The selection automatically moves between the 2 screens.

If the number of lines is set to zero the display will show '-----' to indicate continuous output (Figure 3.23-2).

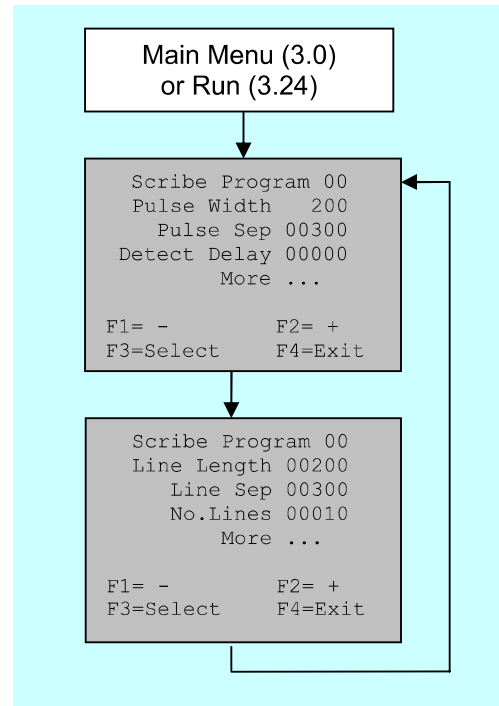


Figure 3.23-1 Scribe Edit Screen

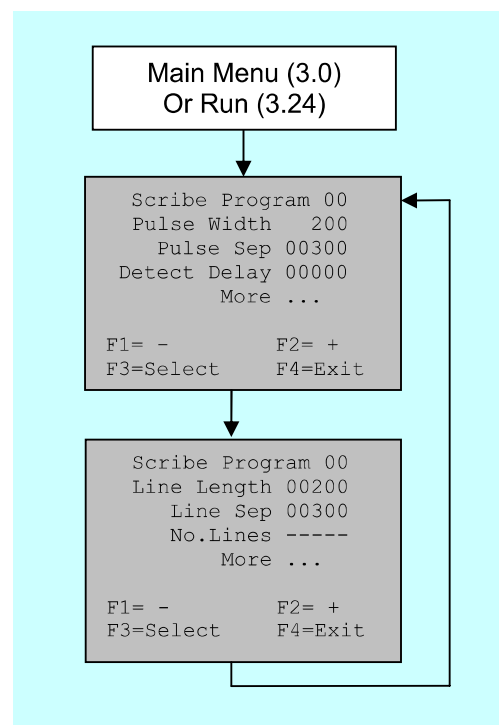


Figure 3.23-2 Scribe Edit (Lines=0)

3.24 Run

Figure 3.24-1 shows the run mode screens. The first screen is displayed before the laser is enabled. It shows the current operating mode. The status button (F2) can be used to display the current parameters for the selected mode. The edit button (F3) allows adjustment of the parameters for the current mode.

The Go button (F1) will show the warning screen if the switches have not been activated.

Once the switches are activated the display changes to show ---LASER ENABLED---

At this point a trigger signal will cause modulation output.

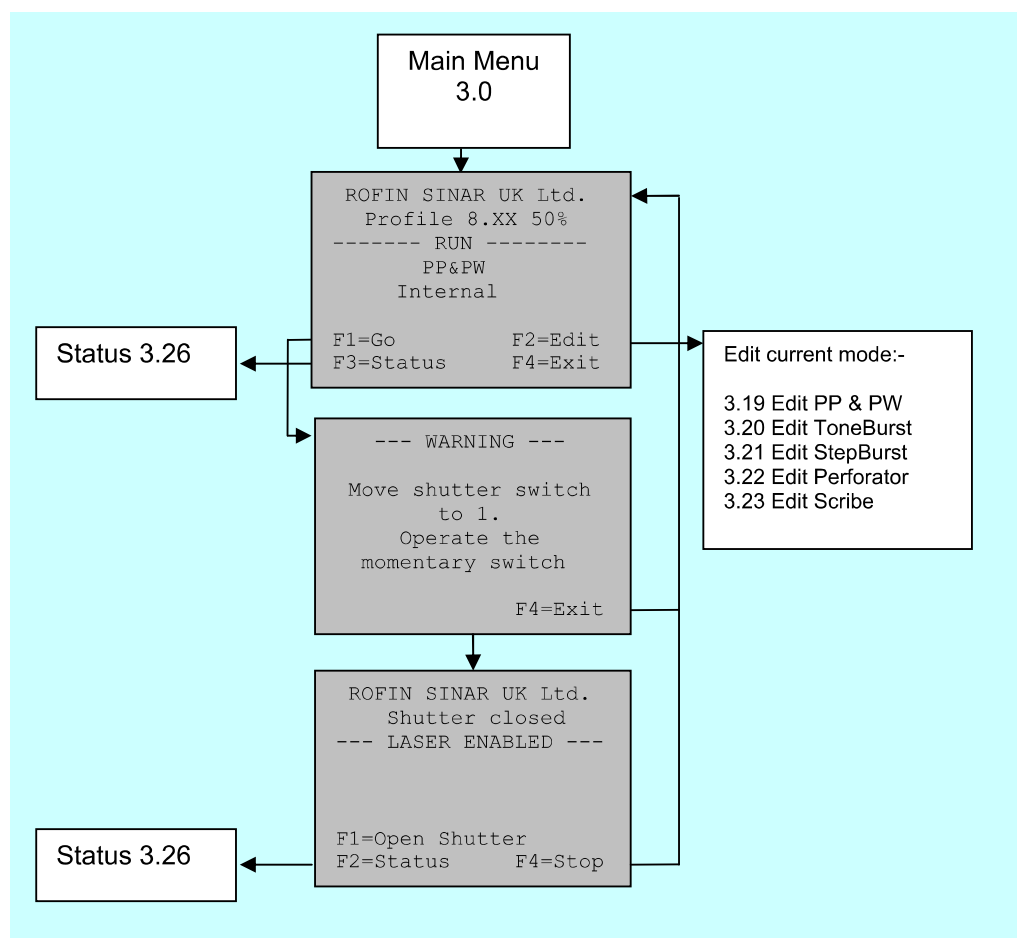


Figure 3.24-1 Run Mode

3.25 Option Menu.

The Controller Option Screen allows the user to set the following:

- Controller Screen Language
- The Entry Mode
- If the system has a shutter fitted.

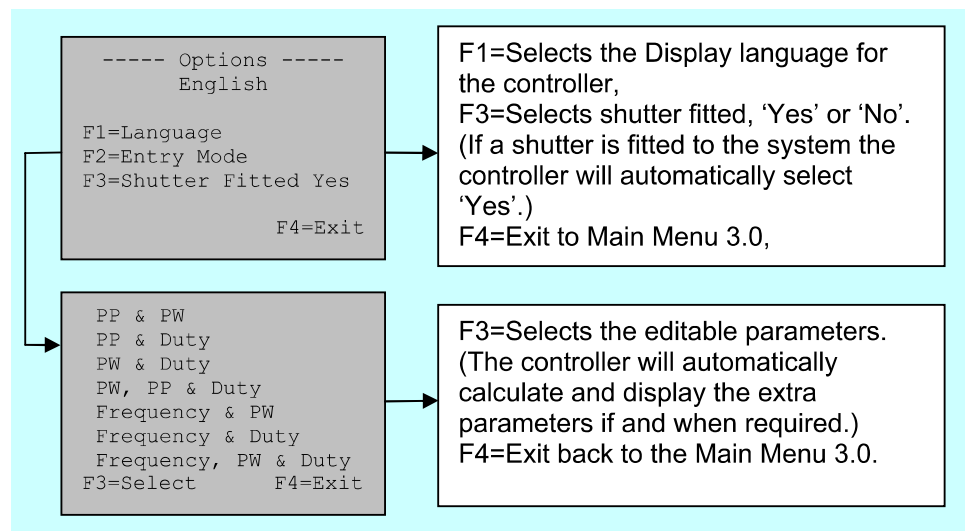


Figure 3.25-1 Options Menu

3.26 Status

Figure 3.26-1 shows the status screens displayed in each operating mode. The status screen can be cancelled using F4.

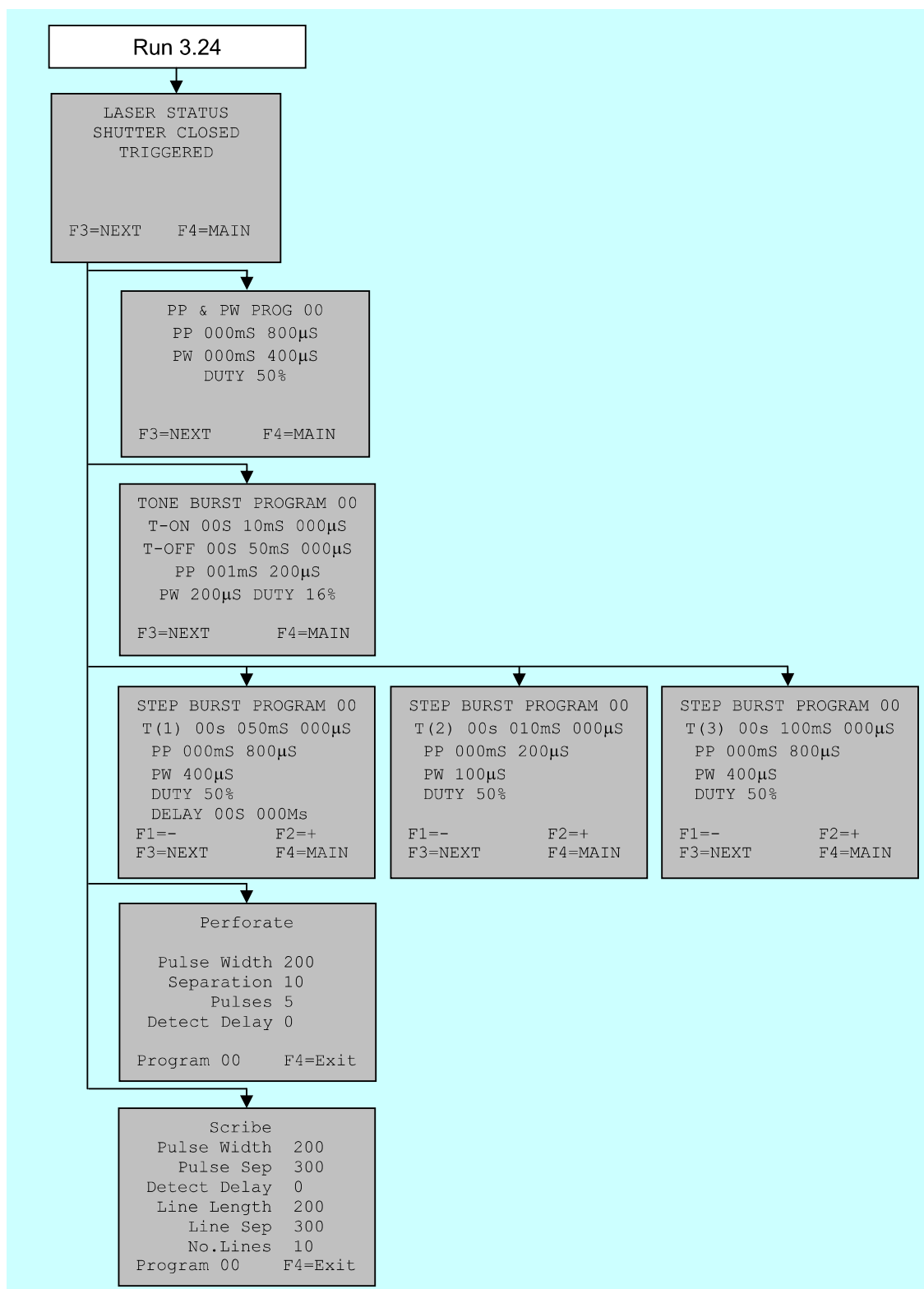


Figure 3.26-1 Status Screens

3.27 Overview

Figure 3.27-1 shows the relationship between all the screens on the system.

Note that F4-Exit will always return the user to the previous screen.

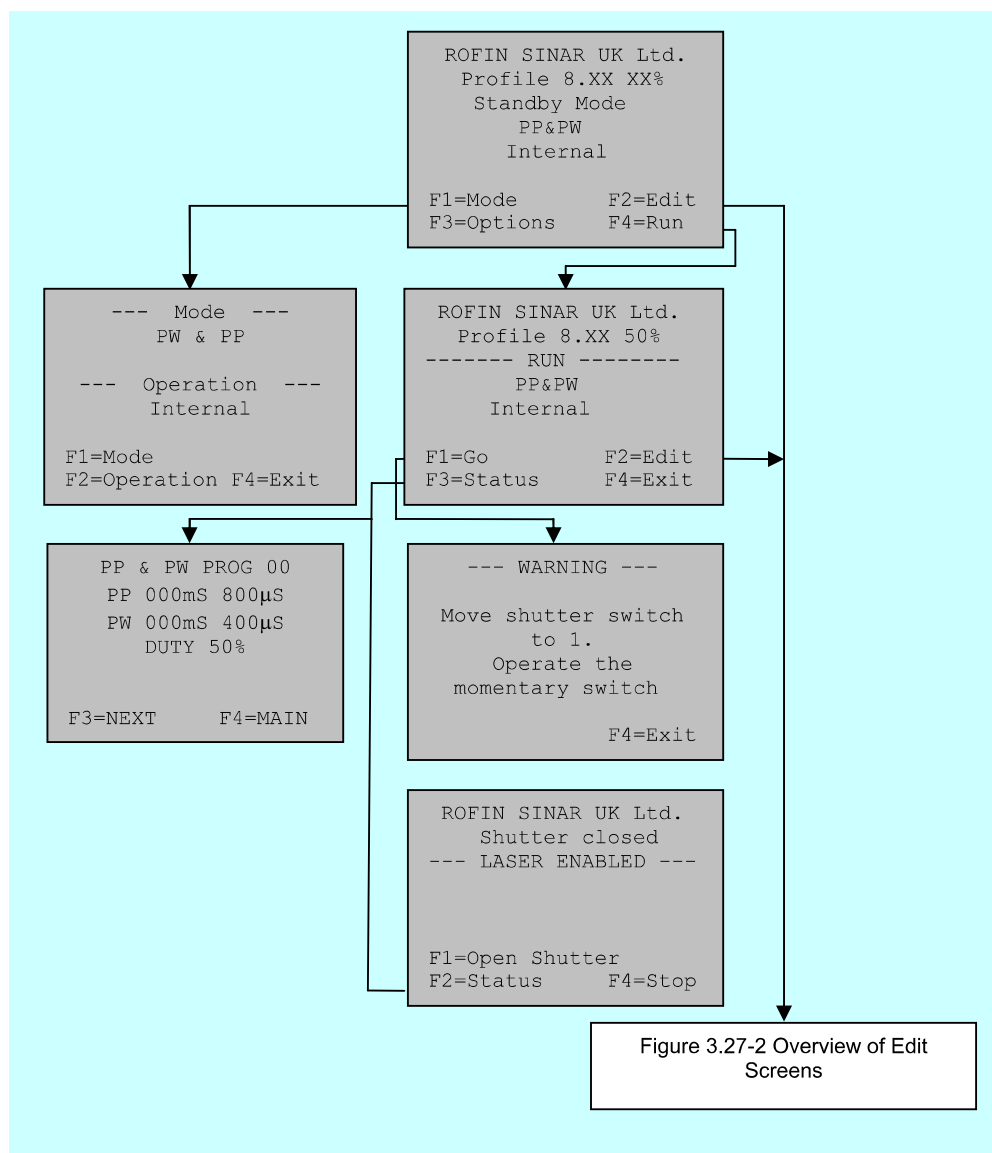


Figure 3.27-1 Overview of System Screens

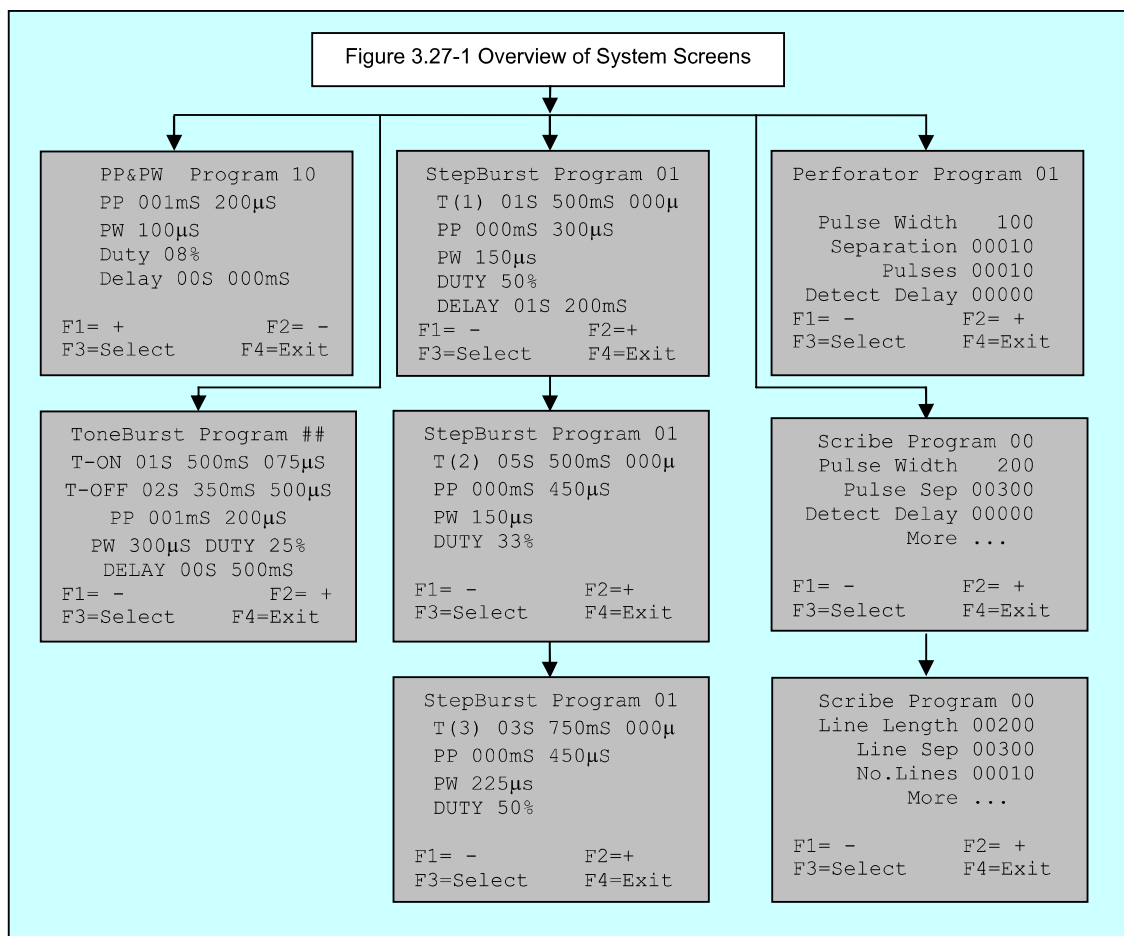


Figure 3.27-2 Overview of Edit Screens

3.28 First Use

When the unit is first switched on, it is necessary to set the correct mode of operation. Press F1 'Mode'. Use F1 and F2 to select the correct mode and operation options as described in 3.1.

Press F4 'Exit' followed by F3 'Edit' to access the parameters for the selected mode. Set the parameters to appropriate values. When all parameters have been set, press F4 'Exit' to return to the main screen.

To enable the laser press F4 'Run' followed by F1 'Go'. You will be prompted to turn the shutter switch to 1 and operate the momentary switch. After you operate these switches you will see the momentary switch illuminate green and the screen now shows ---Laser Enabled---

Press F1 to open the shutter. The controller is now ready for a trigger signal to initiate modulation.



WARNING, any trigger signal applied to the controller will result in CO₂ laser output. Extreme caution should be taken.

Note that in perforate and scribe modes you will also require a Tacho signal.

Section 4

Serial Interface Specification

Section 4 Serial Interface Specification

4.0 Serial Interface Protocol

Baud Rate	9600
Data bits	8
Start bit	1
Stop bit	None
Parity	None
No Handshake	

General Data Format: **\$xxnnnnnncc**<CR><LF>
Where:

xx a two-byte command in ASCII format, as described in table
nnnnnn a parameter consisting of ASCII characters
cc checksum two byte hexadecimal number

$$\text{Checksum} = \text{MOD} \left(\sum_{n=3}^{n=x} \text{Byte}(n), 256 \right)$$

Where x=number of data bytes sent. n[0]=\$, n[1&2]=command code

All parameters are sent in fixed width fields with leading zeros if necessary

The replies can fall into either one of the following two categories:

1 – Status: < * > <yy> <CR><LF>

Where **yy** is a two-byte reply parameter in ASCII code, described in Table 8

2 – General Data Format message as described in the tables under 'reply'

Table 1. Commands 50-53 for backwards compatibility

Command	Description	Parameters	Range	Reply	Comment for Rev 8
ASCII(14)	Reset Controller	< [1] >		Status	
50	Set step burst parameters	< Program # [2] > < Time1 [8] > < PP/PW1 [2] > < Time2 [8] > < PP/PW2 [2] > < Time3 [8] > < PP/PW3 [2] >	$100\mu s \leq TX \leq 50000000$ $0 \leq PP/PWx \leq 15$	Status	Sets parameters for step burst program using parameters in PP/PW program, leaves detect delay unchanged. Use new command 80
51	Set tone burst	< Ton [8] > < Toff [8] >	$100\mu s \leq TX \leq 50000000$	Status	Sets parameters for current tone burst program, leaves detect delay and PP/PW unchanged. If current mode is not ToneBurst this command has no effect Use new command 81
52	Return step burst parameters	< Program # [2] >		<\$52> < Program# [2]> <T1[8]> <P1[2]> <T2[8]> <P2[2]> <T3[8]> <P3[2]>	Returns parameters for step burst program excluding detect delay. Always returns 0 for P1,P2,P3 Use new command 82
53	Return tone burst parameters			<\$53> <Ton [8]> <Toff [8]>	Return parameters for <i>current</i> tone burst program excluding detect delay. If current mode is not ToneBurst this command has no effect Use new command 83

Table 2. Commands 60-63 for backwards compatibility

Command	Description	Parameters	Range	Reply	Comment for Rev 8
60	Set PP&PW	< Program # [2] > < Pulse Width [3] > < Pulse Period [6] >	$0 \leq PX \leq 15$ $8 \leq PW \leq 400(\mu s)$ $(16 \leq PP \leq 200000)(\mu s)$	Status	Sets parameters for PP & PW program, leaves detect delay unchanged. Use new command 90
61	Return PP&PW	< Program # [2] >	0-15	<\$61> <Program# [2]> <PW[3]> <PP[6]>	Return parameters for PP & PW program excluding detect delay Use new command 91
62	Set mode & operation	< mode [2] > <operation [2] >	(See Table 8)	Status	Unchanged
63	Return Mode and operation			<\$63> <mode [2]> <operation [2]>	Unchanged

Table 3. Commands 64-69 Deleted in version 8

Command	Description	Parameters	Range	Reply	Comment for Rev 8
64	Set Tacho pulses/second	< pulses/sec [5]>	0-50000	Status	Not used
65	Set no of shots / no of pulses per shot	< No of shots [5] > < No of pulses [5]>	0-50000 0-50000	Status	Not used
66	Return Tacho pulses per second			<\$66> <Pulses/second [5]>	Not used
67	Return no of shots / no of pulses per shot			<\$67> <No of shots[5]> <No of Pulses[5]>	Not used
68	Set trigger delay	< trigger delay [5]>	0-50000	Status	Sets detect delay for current program Note in PP&PW, tone burst and step burst delay is mS, in Tacho and Scribe delay is in encoder pulses
69	Return trigger delay			<\$69> <trigger delay [5]>	Note in PP&PW, tone burst and step burst delay is mS, in Tacho and Scribe delay is in encoder pulses

Table 4. Commands 70-77 Unchanged in version 8

Command	Description	Parameters	Range	Reply	Comment for Rev 8
70	Goto standby			Status	Unchanged
71	Goto execute mode			Status	Unchanged
72	Return Version			<\$72> <Version string [22]>	Unchanged
73	Return execute status			<\$73> <Shutter Status[1]> <Laser Status[1]>	Unchanged Shutter status: 0=closed, 1=open, 2=error (both open) 3=error (both closed) Laser status: 0=off, 1=on
74	Get User port 1 status			<\$74> < progsel 0-3 [1]> <tachoq [1]> <trigger [1]> <NC1 [4]>	
75	Get User port 2 status			<\$75> < IN1-4 [1] > < IN5 [1] > < FIN [1] >	
76	Open/Close Shutter	state[1]			0 = Close shutter 1 = Open shutter
77	Trigger				Fires a sequence in Tone Burst (one shot), Step Burst (one shot), Scribe and Perforate modes. No effect in other modes.

Table 5. Commands 80-81 Added in version 8

Command	Description	Parameters	Range	Reply	Comment for Rev 8
80	Set step burst parameters	<Program # [2]> <Time1 [8]> <PulseWidth1 [3]> <PulsePeriod1 [6]> <Time2 [8]> <PulseWidth2 [3]> <PulsePeriod2 [6]> <Time3 [8]> <PulseWidth3 [3]> <PulsePeriod3 [6]> <Delay [5]>	$100 \leq \text{TimeX} \leq 50000000\mu\text{s}$ $5 \leq \text{PW} \leq 400\mu\text{s}$ $10 \leq \text{PP} \leq 200000\mu\text{s}$ $0 \leq \text{Delay} \leq 50000\text{ mS}$	Status	Sets parameters for step burst program, including detect delay. Set Program=99 to set parameters for all programs Replaces command 50
81	Set tone burst parameters	<Program # [2]> <Ton [8]> <Toff [8]> <PulseWidth[3]> <PulsePeriod [6]> <Delay [5]>	$100 \leq \text{Ton} \leq 50000000\mu\text{S}$ $100 \leq \text{Toff} \leq 50000000\mu\text{S}$ $8 \leq \text{PW} \leq 400\mu\text{s}$ $16 \leq \text{PP} \leq 200000\mu\text{S}$ $0 \leq \text{Delay} \leq 50000\text{mS}$	Status	Sets parameters for tone burst program, including detect delay Set Program=99 to set parameters for all programs Replaces command 51

Table 6. Commands 82-83 Added in version 8

Command	Description	Parameters	Reply	Comment for Rev 8
82	Return step burst parameters	<Program # [2]>	<\$82> < Program# [2]> <T1[8]> <PulseWidth1[3]> <PulsePeriod1[6]> <T2[8]> <PulseWidth2[3]> <PulsePeriod2[6]> <T3[8]> <PulseWidth3[3]> <PulsePeriod3[6]> <Delay [5]>	Returns parameters for step burst program, including detect delay. Replaces command 52
83	Return tone burst parameters	<Program # [2]>	<\$83> <Program# [2]> <Ton [8]> <Toff [8]> <Pulse Width[3]> <Pulse Period <6> <Delay [5]>	Return parameters for tone burst program, including detect delay. Replaces command 53

Table 7. Commands 84-87 Added in version 8

Command	Description	Parameters	Range	Reply	Comment for Rev 8
84	Set perforate parameters	< Program # [2] > < Pulse Width [3] > < Separation [5] > < Pulses [5] > < Delay [5] >	0 ≤ Program ≤ 15 5 ≤ PW ≤ 400µs 0 ≤ Sep ≤ 50000 0 ≤ Pulses ≤ 50000 0 ≤ Delay ≤ 50000	Status	Sets parameters for step burst program, including detect delay. Set Program=99 to set parameters for all programs Replaces command 50
85	Return perforate parameters	< Program # [2] >		<\$85> < Program # [2] > < Pulse Width [3] > < Separation [5] > < Pulses [5] > < Delay [5] >	Returns parameters for step burst program, including detect delay. Replaces command 82
86	Set scribe parameters	< Program # [2] > < Pulse Width [3] > < Separation [5] > < Delay [5] > < Line length [5] > < Line sep. [5] > < No.Lines [5] >	0 ≤ Program ≤ 15 5 ≤ PW ≤ 400µs 0 ≤ Sep ≤ 50000 0 ≤ Delay ≤ 50000 0 ≤ Length ≤ 50000 0 ≤ Line sep ≤ 50000 0 ≤ No.Lines ≤ 50000	Status	Sets parameters for tone burst program, including detect delay Set Program=99 to set parameters for all programs Replaces command 81
87	Return scribe parameters	< Program # [2] >		<\$87> < Program # [2] > < Pulse Width [3] > < Separation [5] > < Delay [5] > < Line length [5] > < Line sep. [5] > < No.Lines [5] >	Return parameters for tone burst program, including detect delay. Replaces command 83

Table 8. Status

Error	Description	Possible causes
00	transmission OK	
01	Command not recognised	Command is not a listed command
02	<i>Parameter out of range: too small</i>	Not used, replaced by 30-39
03	<i>Parameter out of range: too large</i>	Not used, replaced by 30-39
04	Checksum error	Transmission error
05	Command currently not executable	Executing, cannot respond to this command
06	Microprocessor Reset	Manual reset or power up or software reset.
07	Wrong mode	Parameters have been sent for a different mode to the current operating mode
08	Command currently not executable	Not Executing, cannot respond to this command
20	Mode not recognised	
21	Option not recognised	
30	Program# out of range	
31	PulseWidth too high	
32	PulseWidth too low	
33	Pulse Period too high	
34	Pulse Period too low	
35	Duty cycle too high	
36	Burst time too low	
37	Burst time too high	
38	Detect delay too high	
40	Pulse separation too high	
41	Pulse separation too low	
42	Line length too high	
43	Line separation too high	
44	No of lines too high	
45	No. of pulses too high	
99	Unknown error	

Table 9. Mode and Operation Settings for PP/PW and Tone Burst Modes

Mode	Operation	Mode Description	Operation Description
<0><0>	<0><0>	PW & PP	Internal
<0><0>	<0><1>	PW & PP	Numeric control PW (Fixed PP) Full range
<0><0>	<0><2>	PW & PP	Numeric control PP (Fixed PW) Full range
<0><0>	<0><7>	PW & PP	Numeric control PW (Fixed PW) User range
<0><0>	<0><8>	PW & PP	Numeric control PP (Fixed PW) User range
<0><1>	<0><0>	Tone burst (cycle)	Internal
<0><1>	<0><1>	Tone burst (cycle)	Numeric control PW (Fixed PP) full range
<0><1>	<0><2>	Tone burst (cycle)	Numeric control PP (Fixed PW) full range
<0><1>	<0><3>	Tone burst (cycle)	Numeric control (Fixed on-time)
<0><1>	<0><4>	Tone burst (cycle)	Numeric control (Fixed off-time)
<0><1>	<0><7>	Tone burst (cycle)	Numeric control PW (Fixed PP) user range
<0><1>	<0><8>	Tone burst (cycle)	Numeric control PP (Fixed PW) user range
<0><2>	<0><0>	Tone burst (one shot)	Internal
<0><2>	<0><1>	Tone burst (one shot)	Numeric control PW (Fixed PP) full range
<0><2>	<0><2>	Tone burst (one shot)	Numeric control PP (Fixed PW) full range
<0><2>	<0><3>	Tone burst (one shot)	Numeric control (Fixed on-time)
<0><2>	<0><7>	Tone burst (one shot)	Numeric control PW (Fixed PP) user range
<0><2>	<0><8>	Tone burst (one shot)	Numeric control PP (Fixed PW) user range

Table 10. Mode and Operation Options for Step Burst, Perforate and Scribe Modes

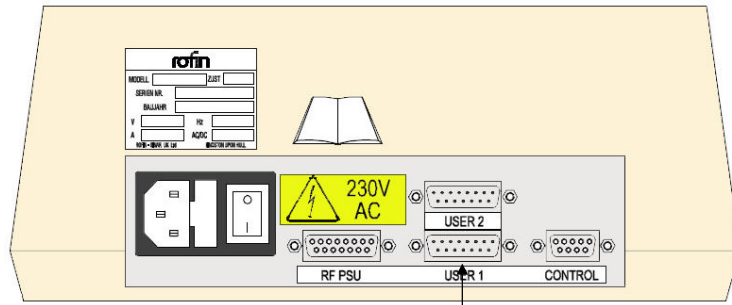
Mode	Operation	Mode Description	Operation Description
<0><3>	<0><0>	Step burst (cycle)	Internal
<0><3>	<0><1>	Step burst (cycle)	Numeric control PW (Fixed PP) full range
<0><3>	<0><2>	Step burst (cycle)	Numeric control PP (Fixed PW) full range
<0><3>	<0><7>	Step burst (cycle)	Numeric control PW (Fixed PP) user range
<0><3>	<0><8>	Step burst (cycle)	Numeric control PP (Fixed PW) user range
<0><4>	<0><0>	Step burst (one shot)	Internal
<0><4>	<0><1>	Step burst (one shot)	Numeric control PW (Fixed PP) full range
<0><4>	<0><2>	Step burst (one shot)	Numeric control PP (Fixed PW) full range
<0><4>	<0><7>	Step burst (one shot)	Numeric control PW (Fixed PP) user range
<0><4>	<0><8>	Step burst (one shot)	Numeric control PP (Fixed PW) full range
<0><5>	<0><0>	Step burst (continuous)	Internal
<0><5>	<0><1>	Step burst (continuous)	Numeric control PW (Fixed PP) full range
<0><5>	<0><2>	Step burst (continuous)	Numeric control PP (Fixed PW) full range
<0><5>	<0><7>	Step burst (continuous)	Numeric control PW (Fixed PP) user range
<0><5>	<0><8>	Step burst (continuous)	Numeric control PP (Fixed PW) user range
<0><6>	<X><X>	Not used (was Tacho mode)	Not used
<0><7>	<X><X>	Perforate	Not used
<0><8>	<X><X>	Scribe	Not used
<1><0>	<X><X>	Engineering standby	Read only
<1><1>	<X><X>	Engineering one-shot	Read only
<1><2>	<X><X>	Engineering Test	Read only

Table 11. Mode and Operation Options for Step Burst, Perforate and Scribe Modes

Mode	Operation	Mode Description	Operation Description
<0><3>	<0><0>	Step burst (cycle)	Internal
<0><3>	<0><1>	Step burst (cycle)	Numeric control PW (Fixed PP) full range
<0><3>	<0><2>	Step burst (cycle)	Numeric control PP (Fixed PW) full range
<0><3>	<0><7>	Step burst (cycle)	Numeric control PW (Fixed PP) user range
<0><3>	<0><8>	Step burst (cycle)	Numeric control PP (Fixed PW) user range
<0><4>	<0><0>	Step burst (one shot)	Internal
<0><4>	<0><1>	Step burst (one shot)	Numeric control PW (Fixed PP) full range
<0><4>	<0><2>	Step burst (one shot)	Numeric control PP (Fixed PW) full range
<0><4>	<0><7>	Step burst (one shot)	Numeric control PW (Fixed PP) user range
<0><4>	<0><8>	Step burst (one shot)	Numeric control PP (Fixed PW) full range
<0><5>	<0><0>	Step burst (continuous)	Internal
<0><5>	<0><1>	Step burst (continuous)	Numeric control PW (Fixed PP) full range
<0><5>	<0><2>	Step burst (continuous)	Numeric control PP (Fixed PW) full range
<0><5>	<0><7>	Step burst (continuous)	Numeric control PW (Fixed PP) user range
<0><5>	<0><8>	Step burst (continuous)	Numeric control PP (Fixed PW) user range
<0><6>	<X><X>	Not used (was Tacho mode)	Not used
<0><7>	<X><X>	Perforate	Not used
<0><8>	<X><X>	Scribe	Not used
<1><0>	<X><X>	Engineering standby	Read only
<1><1>	<X><X>	Engineering one-shot	Read only
<1><2>	<X><X>	Engineering Test	Read only

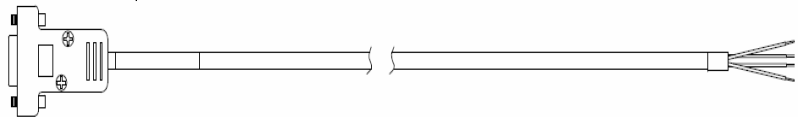
Appendix 1

Additional Information



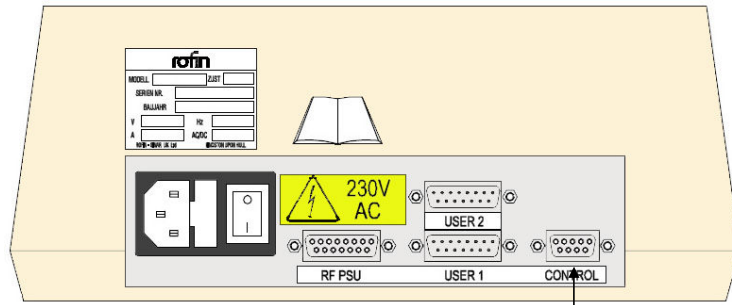
Pin	Colour	Function
1	White	Remote Program Selector Bit 3
2	Green	User Shutter Enable
3	Black	Remote Program Selector Bit 0
4	Yellow	5V DC
5	Red	Analogue (NC) Control
6	Blue	GND
7	Brown	RS232 Transmit
8	Violet	Trigger
9	Orange	Tacho
10	Pink	Shutter status
11	Turquoise	Remote Program Selector Bit 1
12	Grey	User External Emission indicator
13	Red/Blue	Remote Program Selector Bit 2.
14	Green/Red	GND
15	Yellow/Red	RS232 Receive

9 1
15 8
SOCKET



Controller to User Interface connection details
093-0014-XXXX

rofin
ROFIN-SINAR UK



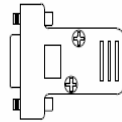
Pin	Function
1	Shutter Enable
2	Shutter open sensor
3	Shutter close sensor
4	PSU healthy
5	PSU healthy return
6	External Emission indicator
7	Ground
8	Ground
9	Emission Lamp Healthy

PLUG

1 6



5 9

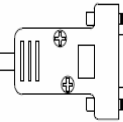


SOCKET

6 1

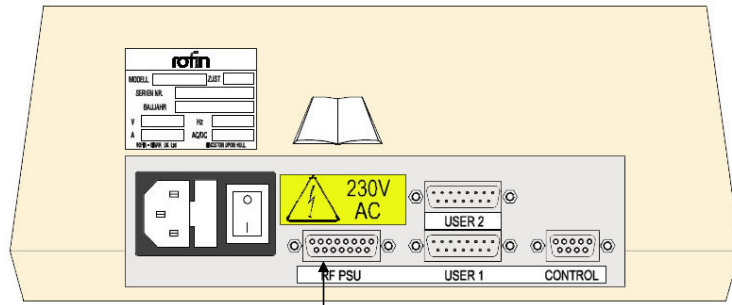


9 5



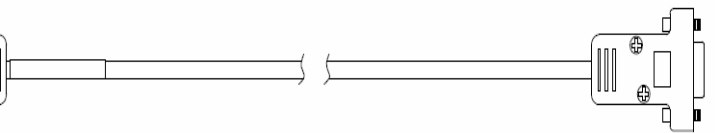
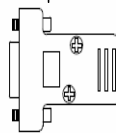
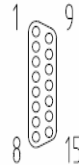
Controller to PSU (Single Phase) Control connection details
093-0012-XXXX

rofin
ROFIN-SINAR UK



Pin No	Function
1	VSWR Protection input (+)
2	VSWR Protection Input (-)
3	Over Modulation Input
4	Modulation Output (-)
5	Modulation Output (+)
6	RF Power Supply enable output
7	Forward Power Feedback
8	Reflected Power Feedback
9-15	Ground

PLUG

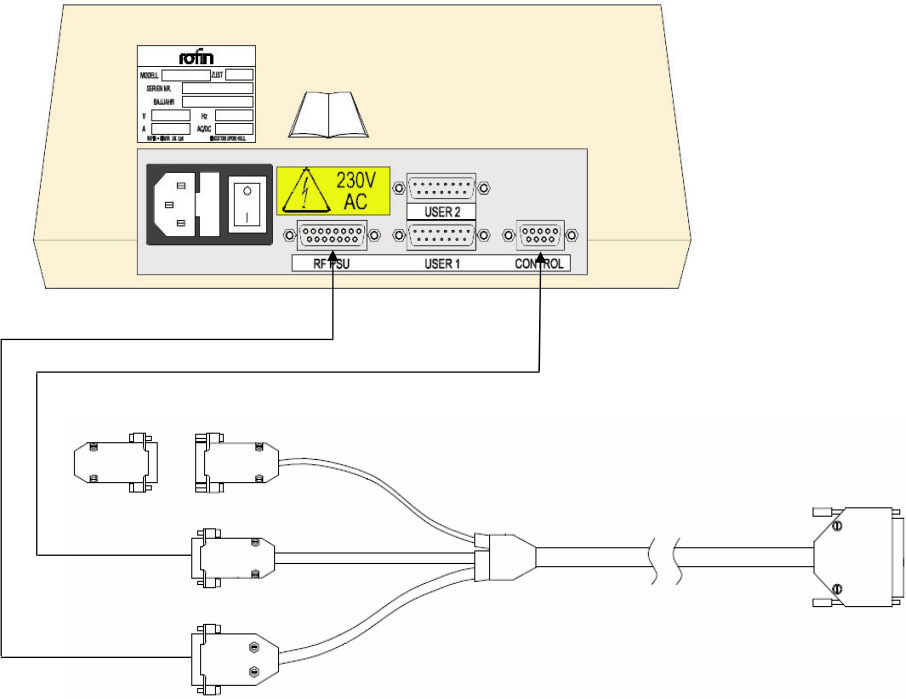


Controller to RF Power Supply connection details
093-0013-XXXX

rofin
ROFIN-SINAR UK

25 Way	Function	9 Way Plug	15 Way Plug	9 Way Socket
1	Shutter Enable	1		
2	External Emission Indicator	6		
3	Shutter Open Sensor	2		
4	Ground Connection	7		
5	Shutter Closed Sensor	3		
6	Ground Connection		9	
7	DC Power Supply OK	4		
8	Emission Lamp OK	9		
9	DC Power Supply OK Return	5		
10	RF Reflected Output		8	
11	RF Forward Output		7	
12	RF Supply Enable		6	
13	Modulation Input		5	
14	Modulation Input		4	
15	Over Modulation Output		3	
16	VSWR Status Output		2	
17	VSWR Status Output		1	
18	RS232 Tx*			5
19	External Interlock			1
20	External Interlock Return			2
21	Diode enable*			6
22	RS232 Rx*			7
23	not used			
24	not used			
25	Opto Isolator common*			3
Screen		8		4

* SC x30 Systems only.



Controller to 3 Phase Power Supply Connection Details
093-0015-XXXX

